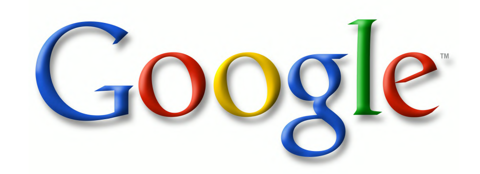




MUSEUM D'HISTOIRE NATURELLE
Chaire de Géologie : **M. Stanislas MEUNIER**, Professeur

CATALOGUE SOMMAIRE

DE

LA COLLECTION

DE

GÉOLOGIE EXPÉRIMENTALE

DU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE

PARIS
LES FILS D'ÉMILE DEYROLLE,
ÉDITEURS
46, RUE DU BAC, 46
—
1907

MUSEUM D'HISTOIRE NATURELLE

CHAIRE DE GÉOLOGIE

M. STANISLAS MEUNIER, PROFESSEUR

CATALOGUE SOMMAIRE DE LA COLLECTION DE GÉOLOGIE EXPÉRIMENTALE

AVERTISSEMENT

Après de très nombreuses objections, dont beaucoup ont revêtu un caractère tout à fait puéril, la **Géologie expérimentale** a enfin reçu définitivement droit de cité dans la Science. Son but, comme on le sait, est d'imiter, par les procédés du laboratoire, les phénomènes géologiques et les produits variés qu'ils ont engendrés dans les diverses régions de l'écorce terrestre. Une foule de problèmes ont été déjà élucidés par son intervention toute-puissante et l'on doit attendre les plus grands progrès de son complet développement. Jusqu'à présent la méthode expérimentale s'est attaqué très inégalement aux divers chapitres de la Géologie, et il est intéressant de préciser les domaines où elle rencontre le plus de difficulté pour s'exercer. C'est ce qui résultera de la lecture des pages suivantes où nous avons résumé autant que possible, l'énumération des objets qui, dès maintenant, sont placés sous les yeux du public dans la Galerie de Géologie du Muséum de Paris (1).

(1) On aura un exposé complet de ce grand sujet dans l'ouvrage intitulé *La Géologie expérimentale*, par M. STANISLAS MEUNIER, 1 vol. in-8°, 2e édition 1904.

Un certain nombre d'objets portés au Catalogue n'ont pu trouver place dans nos vitrines, soit à cause de leur trop grande dimension, soit à cause de la difficulté et parfois de l'impossibilité de leur conservation. La Maison Deyrolle, 46, rue du Bac, Paris, fabrique tous les appareils mentionnés dans le présent ouvrage.

PREMIÈRE PARTIE

APPLICATION DE LA MÉTHODE EXPÉRIMENTALE A L'ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES D'ORIGINE SUPERFICIELLE

§ 1er. — *Erosion pluviaire.*

1. — Émoussement et arrondissement des formes anguleuses sous l'influence de l'intempérisme.

Cube de craie R abandonné dans une atmosphère remplie de vapeurs d'acide chlorhydrique HCl représentant (avec plus d'énergie) l'acide carbonique de l'atmosphère (fig. 1).

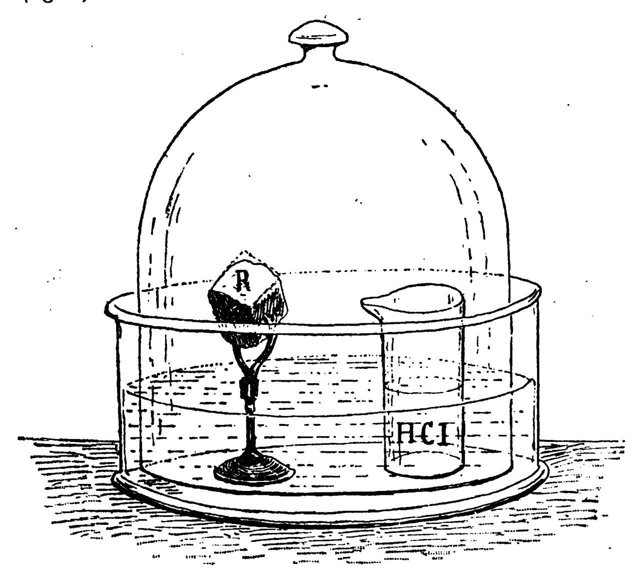


Fig. 1. — Emoussement rapide d'uu cube de craie abandonné dans une atmosphère chargée de vapeurs acides.

L'appareil se compose d'une grande cloche en verre placée dans une conserve, contenant une couche d'eau et

sous laquelle on a disposé, l'un vis-à-vis de l'autre, un cube de craie parfaitement régulier et à surfaces bien lisses et un petit vase d'où se dégagent des vapeurs acides. Dans la pratique, l'acide chlorhydrique ordinaire qu'on peut renouveler plusieurs fois convient parfaitement, surtout si on opère en été et si on a soin de placer l'appareil dans une partie du laboratoire où parviennent les rayons du soleil.

Au bout de peu de jours, on voit le cube de craie très modifié dans sa forme, mais surtout par l'addition à sa surface de petites croûtes composées de chlorure de calcium, soulevées par le dégagement de l'acide carbonique:

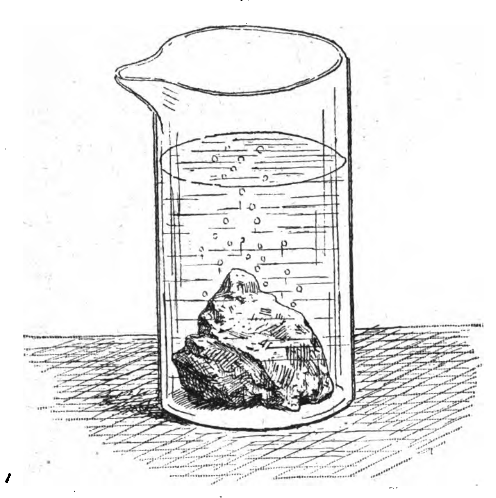


Fig. 2. — Emoussement d'un polyèdre calcaire, placé dans une liqueur acide ; saillie progressive des grenats inclus dans la roche.

Après lavage à l'eau, le bloc de craie présente un profil qui se rapproche d'autant plus de celui d'un sphéroïde que l'expérience a été prolongée plus longtemps.

2. — Production artificielle de galets sans charriage. Des cubes ou d'autres polyèdres anguleux de calcaire

ont été abandonnés dans une dissolution très étendue d'acide chlorhydrique (fig. 2). Au bout d'un temps convenable ils ont entièrement perdu leurs formes angu-

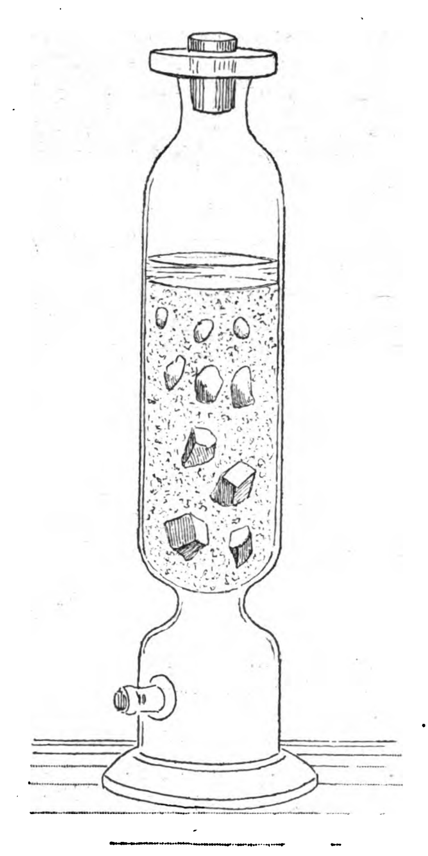


Fig. 3. — Emoussement de polyèdres de craie enfouis dans une colonne de sable quartzeux qu'on arrose d'acide chlorhydrique très étendu.

leuses. Ils sont devenus ellipsoïdaux comme des galets ordinaires, mais l'absence de tout frottement dans leur

mode de production résulte à la première vue de la situation en saillie des petits grains insolubles qu'ils contiennent et qui auraient été polis extérieurement par une action mécanique. L'intérêt de cette expérience est de reproduire, entre autres, les galets ellipsoïdaux à *nummulites en saillie* qu'on récolte par exemple à Coye, dans la forêt de Chantilly et bien ailleurs.

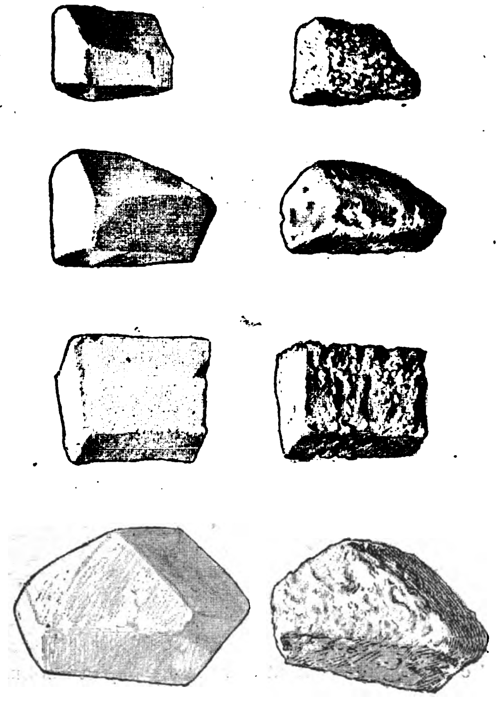


Fig. 4. — Emoussement de polyèdres calcaires, enfouis dans du sable où circule une eau très faiblement acidulée. A gauche blocs de craie très anguleux qu'on a enfoui dans le sable ; à droite état où ils sont parvenus après l'action de l'infiltration acidulée.

3. — Cubes et polyèdres de craie amenés à la forme sphéroïde ou ellipsoïde, par leur séjour dans du sable

quartzeux traversé par un lent courant d'eau faiblement acidulée.

L'appareil (fig. 3) consiste en une éprouvette à dessécher, remplie d'une colonne de sable quartzeux fin et pur, dans lequel on a enfoui des petits polyèdres de craie à angles vifs. On arrose avec de l'acide chlorhydrique très étendu.

La figure 4 montre le résultat obtenu. A gauche, on a dessiné les polyèdres de craie mis en expérience ; à droite, les formes qu'ils ont pris après l'expérience et qui rappellent celles de pierrailles enfouies dans le sol.

Le résultat est comme on voit, analogue à celui de l'expérience qui précède et les conditions sont encore comparables à celles de la nature.

4. — Dissection de roches hétérogènes par l'intempérisme.

Blocs de craie silexifère exposés à l'action de l'eau faiblement acidulée et montrant leurs silex en saillie (fig. 5).

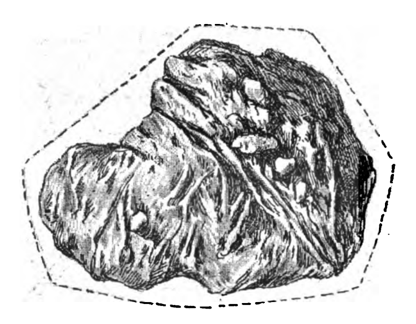


Fig. 5. — Fragment de craie silexifère, exposé à l'action d'un acide très étendu et montrant en saillie ses portions insolubles.

L'appareil est le même que celui de la figure 2, mais on y met une roche calcaire renfermant des particules insolubles, comme des graines de quartz ou des nodules siliceux, ou des tets de fossiles silicifiés.

Au bout de peu de temps, on voit ces objets faire saillie sur le profil général de l'échantillon et même, après leur

dégagement complet, s'accumuler au fond du vase. C'est la reproduction d'un fait naturel extrêmement fréquent : on peut, par exemple, voir les silex faire d'énormes saillies sur les moellons de craie du Chœur de Beauvais et de bien d'autres constructions, et de même les grenats et les dipyres faire relief sur les calcaires des Pyrénées, comme les orthoses sur les porphyres kaolinifiables de la Bretagne ; et l'on voit au pied de ces roches des accumulations des grains insolubles.

5. — Rubéfaction des roches par l'intempérisme. — Calcaire grossier blanc (représenté par un témoin) et devenu jaunâtre par l'action d'un acide étendu agissant en présence de l'air.

On peut plonger un morceau de calcaire grossier bien blanc, comme en fournissent par exemple à Paris les couches à *Hemicardium aviculare*, dans de l'acide chlorhydrique très étendu et le laisser sécher à l'air. On voit alors que la teinte de la roche s'est considérablement modifiée et est devenue d'une nuance jaunâtre plus ou moins accentuée.

C'est un fait d'une importance considérable et à plusieurs points de vue. D'abord, à cause de sa gigantesque dimension, il représente la fixation dans le sol d'une quantité formidable d'óxygène emprunté à l'atmosphère. D'un autre côté, il fournit un trait bien caractéristique auquel on reconnaît sans hésitation la persistance des conditions continentales dans les régions où on l'observe. Dans le Jura, par exemple, c'est sur des centaines de mètres qu'on voit les calcaires néocomiens rubéfiés d'une manière d'autant plus éloquente que les fragments naturels sont encore bleus dans leur portion centrale. On en conclut que le pays subit les effets de l'intempérisme, depuis une durée très prolongée, suffisants pour expliquer l'acquisition par la surface du sol de toutes les ondulations de son profil.

6. — Extraction d'une argile rougeâtre des graviers de calcaire gris contenus dans le diluvium. Explication des traits réciproquement distinctifs des deux diluviums gris

et rouge et de beaucoup d'autres formations analogues.

En dissolvant le calcaire de l'expérience précédente dans un acide, on en retire une argile qui, sous l'action de l'air, se colore très nettement en jaune ocreux. Elle reproduit, dans tous ses détails, la composition de la substance qui communique sa couleur ferrugineuse au diluvium rouge et elle démontre la liaison qui existe entre celui-ci et le diluvium gris dont il n'est qu'un produit de décalcification et de rubéfaction. Ce résultat réduit à néant les opinions d'abord émises sur les diluviums et qui en faisaient des résultats d'extensions horizontales de matériaux charriés à la surface des continents. Un premier déluge aurait amené les matériaux gris et un second phénomène aurait étendu sur eux les matériaux rouges : on voit que la réalité des faits est essentiellement différente.

7. — Ravinement du sol par le ruissellement des eaux sauvages.



Fig. 6. — Tas de sable soumis à une pluie artificielle, pour imiter les effets de la dénudation pluviaire.

Un tas de sable mélangé de plâtre (fig. 6) est soumis à une pluie artificielle qui est fournie par une pomme

d'arrosoir. Malgré l'uniformité de sa chute, celle-ci a déterminé (fig. 7) la production et l'approfondissement progressif de ravins grossièrement parallèles à la ligne de plus grande pente. En mélangeant le sable d'une proportion convenable de plâtre à mouler on produit des spécimens de conservation facile.

L'application de ce résultat est très importante à l'histoire de l'évolution du profil du sol dans les régions exondées. On voit que les dépressions où se réunissent les cours d'eau ne sont pas nécessairement déterminées

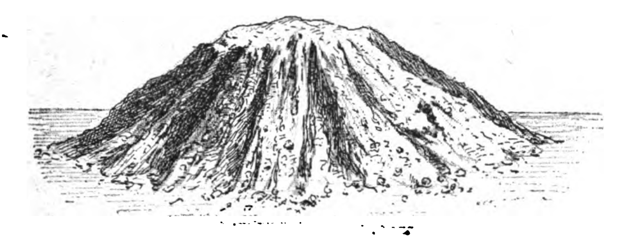


Fig. 7. — Résultat de l'expérience précédente ; production de ravins sur les flancs du tas de sable primitif.

par des différences importantes dans les régions diverses du pays. Les plus minimes circonstances amènent la concentration des filets d'eau de ruissellement en des points déterminés, et en conséquence une plus grande énergie érosive. Une fois commencé, le phénomène se continue et s'accentue par cela même.

8. — Ravinement du sol des plages, par le ruissellement des eaux de reflux durant la marée basse. Moulages de la plage de Saint-Lunaire.

Ces moulages (fig. 8) ont été obtenus en déposant du plâtre gâché dans l'eau douce sur le sable découvert à marée basse. Ils présentent des contours rappelant à s'y méprendre un grand nombre de traces recueillies dans des terrains de tous les âges, et, à cet égard, ils ont un intérêt très vif qu'il sera aisé de faire ressortir.

En premier lieu, on voit nettement, comme dans le paragraphe précédent, l'origine des sillons creusés par

les filets d'eau à la surface du sol primitivement plan et même, il résulte de l'effet observé, un point de vue très fécond dans la théorie des vallées. Sans que nous puissions développer ici ce sujet que nous avons traité

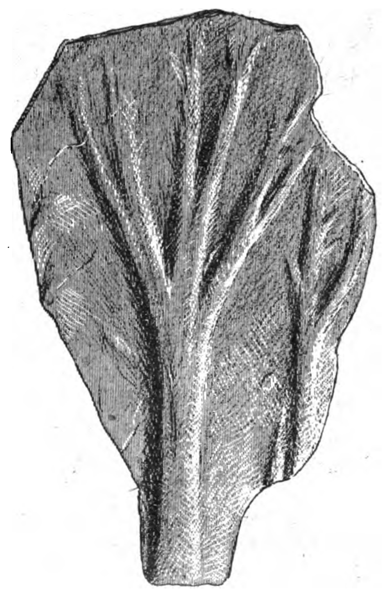


Fig. 8. — Moulage, à l'aide de plâtre, des ruissellement laissés sur la plage de Saint-Lunaire (Ille-et-Vilaine) par le reflux de la mer à marrée basse. 1/3 grandeur naturelle.

ailleurs, on conçoit combien il est inexact de voir dans les vallées ordinaires, c'est-à-dire dans celles des pays non montagneux, le résultat du travail de cours d'eau antérieurs : c'est au contraire la modification lente du sol, sous l'influence des eaux sauvages et de la nappe épipolhydrique, qui amène progressivement la production des cours d'eau. Il est juste, dans une large mesure, de dire que c'est la vallée qui crée le cours d'eau et c'est le renversement de l'ancienne manière de voir. (Voir, pour plus de détail, l'ouvrage intitulé *La Géologie générale*, par Stanislas Meunier. Paris, 1903.)

En second lieu, on est frappé de voir que, malgré le peu de temps de ruissellement du reflux sur la plage, tout d'abord parfaitement unie, les dépressions sont très nettes et profondes. Leur forme dépend en chaque point de la pente et par conséquent de la vitesse de l'eau. Pour des points analogues, les résultats sont très ressemblants et dans le nombre, il en est qui, comme on le voit figure 8, ont une allure qui rappelle celle de branchage ou d'autres vestiges végétaux. Des traces très analogues, provenant des terrains de tous âges où ils se sont fossilisés, ont parfois été pris pour des vestiges organiques.

9. — Craquellement de silex humides abandonnés au froid de l'hiver, production d'éclats comparables à des pierres taillées préhistoriques.



Fig. 9. — Eclats de silex séparés par l'action de la gelée sur des rognons renfermant des particules marneuses. La production de ces éclats, qui se trouvent avoir des analogies de forme avec des pierres taillées par l'homme préhistorique, éclaire un procédé employé par la nature pour remettre en circulation la matière minérale concrétionnée au sein des couches du sol. (Grandeur naturelle.)

La figure 9 montre, entre beaucoup d'autres, le résultat d'une expérience véritable (bien qu'elle ait été acci-

dentelle) et dont les conséquences, intéressantes surtout pour l'histoire de l'intempérisme, s'étendent cependant jusque dans le domaine des sciences préhistoriques.

Il s'agit de rognons tuberculeux de silex, abandonnés à la rigueur du froid pendant tout un hiver sur le sol, d'où ils avaient été extraits à la suite du forage de puits de recherche. Le gel, grâce à l'existence dans la masse pierreuse, de petits lopins crayeux imprégnés d'eau et qui, en se dilatant, ont agi comme des coins, a réduit les rognons en éclats dont beaucoup ont présenté les formes si fréquentes des éléments du diluvium et qu'on a rapprochées de celles d'armes ou d'outils intentionnellement taillés. Le fait est intéressant surtout en montrant comment des pierres très solides et dont la substance pourrait sembler immobilisée à tout jamais, sont cependant réduites en petits fragments que les agents de dénudation peuvent transporter et attaquer de diverses façons.



Fig. 10. — Ballon de verre rempli d'alliage fusible et que la solidification de ce métal abandonné au refroidissement, a traversé de fissures diversement orientées. 1/2 de la grandeur naturelle.

10. — Craquellement d'un ballon de verre où s'est solidifié de l'alliage fusible. L'orientation relative des

félures permet de concevoir l'énergie et la direction des forces développées (fig. 10).

Pour étudier les phénomènes de la gélivité des roches, on peut remplacer l'eau qui se gèle par d'autres matières, jouissant comme elle de la propriété d'augmenter de volume en se solidifiant. Le mélange métallique, connu sous le nom d'*alliage fusible*, est dans ce cas et son emploi est très commode. On a beaucoup varié les expériences auxquelles il se prête et il suffit ici de mentionner celle qui est représentée dans la figure 10.

On remplit un petit ballon de verre de 100 centimètres cubes environ de capacité, d'un alliage fondant au-dessous du degré d'ébullition de l'eau. Quand la substance est bien liquéfiée, on retire le ballon du bain-marie où on l'avait maintenu et on l'abandonne à lui-même sur un valet de paille. Au moment de la solidification, on entend le verre se craqueler et l'intersection des félures reproduit un grand nombre de dispositions naturelles observables dans les fissures des roches.

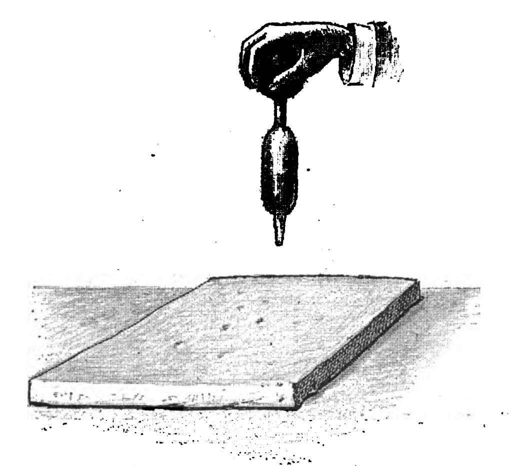


Fig. 11. — Imitation expérimentale de la production de cupules sur des roches pâteuses par la chute des gouttes de pluie.

11. — Travail mécanique de la pluie. — Plaques de

plâtre portant des cupules produites par la chute de gouttelettes d'eau. Imitation des empreintes de gouttes de pluie laissées sur les argiles molles et retrouvées sur des roches d'âge très divers.

Ces expériences (fig. 11) se font à l'aide d'une grosse pipette associée avec une poire en caoutchouc ou à l'aide d'une pissette dont on laisse tomber le contenu goutte à goutte sur une plaque de plâtre récemment gâchée et ayant une consistance convenable. Il importe que les gouttes tombent séparées les unes des autres et non pas réunies en un filet. Pour cela, si on emploie la pipette, il faut exercer alternativement avec le doigt une pression sur le haut de l'appareil. Si on fait usage de la pissette, il faut souffler par très petites saccades très rapprochées les unes des autres. Dans les deux cas, il faut déplacer constamment le réservoir au-dessus de la plaque.

Le résultat obtenu est représenté par la figure 12.

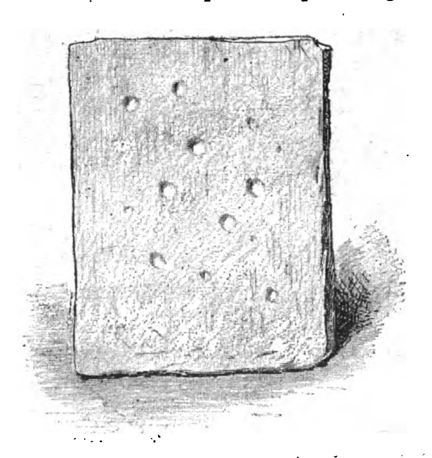


Fig. 12. — Résultat produit par l'expérience précédente.

On y voit une plaque de plâtre qui, étant encore fraîchement gâchée et parvenue seulement à la consistance du fromage mou, a reçu l'empreinte de gouttes d'eau tombant d'une hauteur convenable.

En lançant les gouttes obliquement avec une pipette, on a des empreintes elliptiques qui rappellent celles de la pluie poussée par le vent.

Ces expériences montrent directement l'efficacité des gouttes de pluie pour déplacer des matériaux mobiles. Les échantillons obtenus reproduisent des spécimens naturels, sur lesquels il y aura lieu de revenir à propos de la sédimentation éolienne.

12. — Imitation des cheminées des fées : type de dénudation pluviaire.

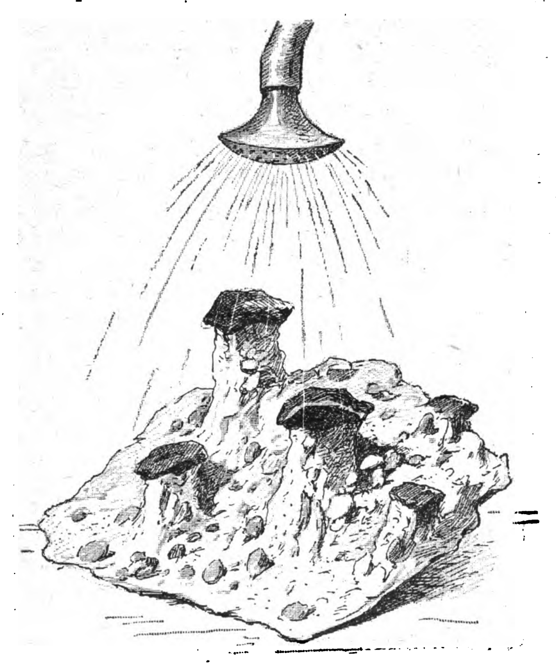


Fig. 13. — Imitation expérimentale des cheminées des fées.

Ces produits, très remarquables par leur analogie avec maintes localités de pays montagneux, s'obtiennent (fig. 13) en faisant tomber la pluie d'une pomme d'arro-

soir, alimentée d'eau sous pression, sur un tas obtenu par le mélange du sable, de graviers, d'éclats de roches et de plâtre à mouler. Les éclats protègent les portions qu'ils recouvrent et qui restent en saillie; le plâtre donne de la solidité au résultat obtenu et en permet la conservation.

Pratiquement, il est commode de placer le tas de matière sèche dans une grande cuvette carrée en porcelaine qu'on incline à 45° sous la pomme d'arrosoir. Il faut que la vitesse de l'eau soit assez grande pour sculpter la matière et que son choc ne soit pas assez violent pour entraîner les pierrailles protectrices. On règle facilement le débit avec un robinet. Nous avons obtenu des échantillons de dimensions extrêmement variées et toutes les conditions du phénomène ont pu être précisées jusque dans leurs détails les plus intimes.

13. — Production à la surface d'une roche calcaire d'un lit de matériaux résiduels, sables et argile, par l'action d'un arrosage à l'eau acidulée. Application à l'histoire des terres végétales de pays calcaires, de l'argile à silex du terrain superficiel de la craie et de beaucoup d'autres produits analogues, comme les *biefs* de Picardie.

L'expérience est disposée comme l'indique la fig. 14 :

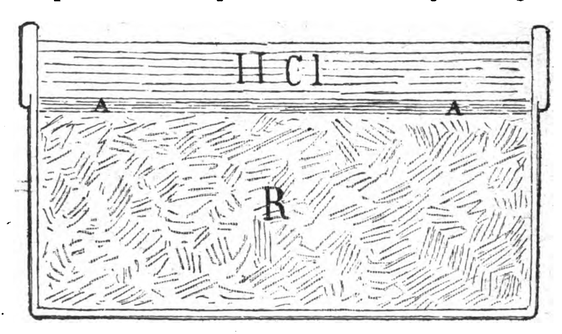


Fig. 14. — Imitation de la dénudation chimique réalisée par la pluie.

Dans cette figure, HCl représente, par une solution extrêmement étendue d'acide chlorhydrique, la couche mince

d'eau pluviaire qui séjourne sur le sol et y ruisselle; R est une couche de craie pulvérisée qu'on peut mêler pour rendre le résultat plus net à une poudre très visible, et très fine par exemple de la pyrite. AA représente le produit obtenu et qui consiste en un lit très mince formé de toutes les substances insolubles que renfermait la craie. Dans le cas particulier, ce sera un mélange d'argile et de pyrite, rendu très sensible par la nuance foncée de cette dernière substance.

§ 2. — *Érosion fluviaire.*

14. — Production des gorges de torrents : dalle de calcaire dont la surface est soumise à l'écoulement d'un filet d'eau acidulée (fig. 15).

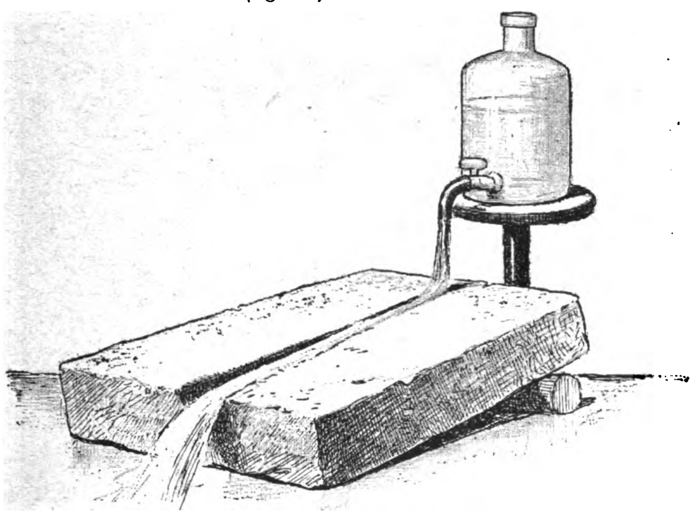


Fig. 15. — Production, à la surface d'une dalle calcaire, d'un sillon d'érosion imitant les gorges des torrents.

Il faut choisir un calcaire facilement attaquable comme est la lambourde, ou calcaire à millioles, des environs de Paris. Le flacon est rempli d'une solution d'acide chlorhydrique ordinaire au 1/200e. On règle l'écoulement et l'in-

clinaison de la plaque selon le résultat que l'on veut obtenir.

Tout d'abord il est utile de remarquer que l'action chimique dont on se sert ici se comporte comme l'action mécanique développée par les torrents. Ce qui le démontre, c'est la conformité absolue de tous les accidents de détails que présente le sillon obtenu. D'un autre côté, il ne faut pas oublier que l'eau des torrents réalise aussi, pour une part, une action chimique sur beaucoup de roches.

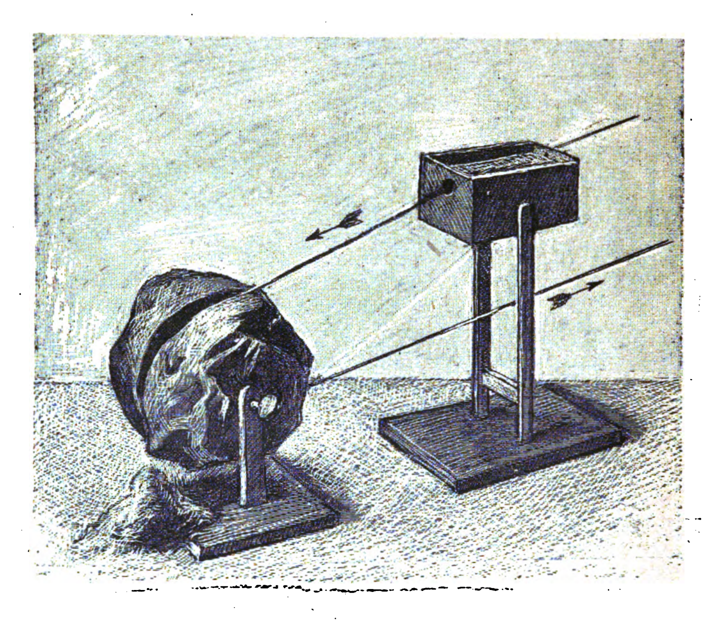


Fig. 16. — Imitation de l'action érosive des torrents, dont l'eau rapide charrie des graviers et des sables à la surface des roches faisant le fond du lit.

15. — Imitation des gorges de torrents à l'aide d'un appareil à scier les pierres. Corde enduite d'émeri qui passe à la surface d'un bloc de calcaire ou de schiste (fig. 16).

L'appareil mis en œuvre est une variante de l'outil

dont se servent les lapidaires. Un bloc rocheux étant solidement maintenu, on fait passer à sa surface, a l'aide d'une poulie actionnée par une petite turbine de laboratoire, une cordelette qui se charge, pendant son trajet, de poussière d'émeri emmagasinée dans une boîte. La cordelette représente l'eau du torrent incapable d'user directement une roche, insoluble; les grains d'émeri représentent les sables charriés par le cours d'eau et vont comme eux s'accumuler au-dessous de la pierre sciée, de façon à rappeler les cônes de déjection qui, dans les montagnes, signalent chaque chute de torrent.



Fig. 17. — Imitation du phénomène de la régression des chutes des cours d'eau.

16. — Régression des chutes : imitation de la régression de la chute du Niagara. Dalle analogue à celle précédemment décrite (v. n° 14), mais où la gorge a d'abord été compliquée d'une chute : on constate que celle-ci « régresse », c'est-à-dire tente de remonter dans le sens inverse de l'écoulement du courant (fig. 17).

Cette expérience, qui est installée d'après les mêmes considérations que celle dont on a eu la description au paragraphe 14, est bien faite pour rendre évident le caractère régressif de toutes les particularités de l'érosion fluviaire qui concernent le travail vertical des cours d'eau. C'est la condition inverse de celle que présentent les caractères du travail horizontal des mêmes agents, qui est au contraire essentiellement trangressive, c'est-à-dire animée d'un mouvement dirigé de l'amont vers l'aval.

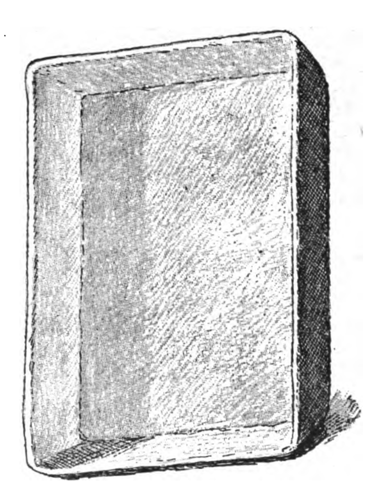


Fig. 18. — Imitation des sillons sur les pentes très abruptes ; position à donner à la cuvette contenant la mince couche de plâtre gâché.

17. — Sillons fluviaires sur les pentes très accentuées. Une plaque de plâtre gâché est redressée, avant sa prise complète, sous un angle très fort : 45, 50, 60 degrés. On constate alors que l'eau qui l'imprègne s'écoule par la base de la plaque en des points plus ou moins équidistants. Chacun de ces points est comme un centre de propagation d'où partent, en se dessinant de bas en haut, des sillons qui se compliquent d'ailleurs en remontant très

rapidement et prennent l'apparence d'arborisation. L'effet obtenu reproduit exactement bien des circonstances naturelles visibles dans les pays de montagne, par exemple dans la vallée du Rhône antérieur, (sur les flancs du mont d'Arvel, en amont de Villeneuve), en Dauphiné et bien ailleurs.

L'appareil à utiliser (fig. 18) est une simple cuvette carrée en porcelaine ou en verre tout à fait semblable à



Fig. 19. — Résultat de l'expérience : production de sillons qui s'allongent de bas en haut en s'anastomosant les uns avec les autres et en se faisant ainsi éprouver mutuellement de nombreuses captures.

celles qu'emploient les photographes. Il ne faut pas la prendre trop petite : 40 centimètres sur 25 font une bonne dimension. Cette cuvette étant placée horizontalement, on y coule une couche de 7 à 8 millimètres d'épaisseur de plâtre à mouler, gâché avec une quantité convenable d'eau. Dès que la masse a acquis la consistance du fromage blanc, on incline la cuvette comme le montre la figure.

Dès que la mince couche de plâtre est dans cette situation, elle alimente des petits filets d'écoulement de l'eau qui l'imprégnait, mais ces filets ne sont d'abord visibles que par leur région tout à fait inférieure. Rapidement ils se propagent de bas en haut et prennent l'apparence indiquée par la figure 19. Leur croissance est très rapide et elle ne peut se faire sans déterminer, ici ou là, des *captures* de filets dont on peut suivre les progrès et qui reproduisent les phénomènes géographiques bien connus depuis les publications de M. Davis.

Pendant cette expérience, l'on constate de toutes parts la réalisation de phénomènes dont la considération est si intéressante pour l'histoire du creusement des vallées et qui expliquent aussi la constitution des cols dans les chaînes de montagnes et l'isolement de leur point d'origine de blocs charriés avant la disparition de la pente continue des débuts.

Ce sont là des sujets de très haute importance et relativement auxquels on trouvera des détails, non seulement dans la *Géologie expérimentale*, mais aussi dans la *Géologie générale*, récemment publiée chez Félix Alcan.

18. — Rétrécissement progressif du courant circulant sur une plaine qui s'érode.

On fait arriver sur une dalle calcaire (fig. 20), convenablement inclinée, un courant d'eau acidulée de volume constant. Après peu de temps, on constate que le filet d'eau n'occupe plus que la région médiane de la surface d'abord mouillée.

Les mêmes précautions doivent être prises que pour l'expérience du paragraphe 14, c'est-à-dire qu'il faut choisir un calcaire très soluble et étendre l'acide chlorhydrique convenablement. Il faut que le liquide arrive sur la dalle en jet assez large et dans ce but on peut aplatir horizontalement avec une pince le bout du tube de caoutchouc. Le flacon doit être disposé de façon à donner un écoulement tout à fait régulier.

On arrive surtout à bien voir les terrasses quand le calcaire présente des lits superposés un peu différents les

uns des autres et dont la solubilité, par conséquent, n'est pas égale parce que ces lits, qui doivent être minces, empêchent l'érosion d'avoir une allure absolument uniforme.

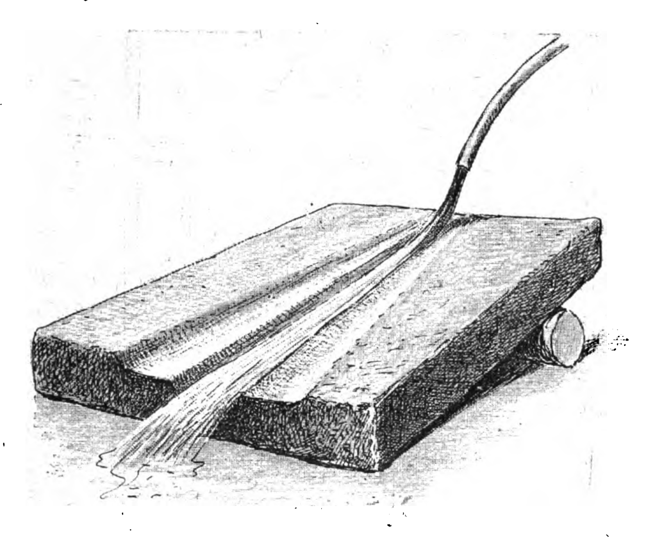


Fig. 20. — Imitation des terrasses latérales des cours d'eau.

19. — Tourbillons des rivières.

Appareil à palettes verticales : production des marmites de géants.

Les mouvements tourbillonnants des cours d'eau méritent d'être étudiés directement. Leur connaissance permet d'expliquer les changements possibles d'allure d'un même courant à des époques successives. Par exemple l'identité des marmites de géants rencontrées à diverses hauteurs sur les parois des gorges, comme dans la gorge du Trient, prouve que le cours d'eau a successivement pénétré dans la roche sous-jacente et n'a jamais eu, comme on l'a dit quelquefois, toute la profondeur que lui donnerait le remplissage actuel de la gorge.

L'appareil mis en usage pour imiter les cavités dont il s'agit, est représenté dans la figure 21. C'est, comme on le voit, un réservoir contenant de l'eau à

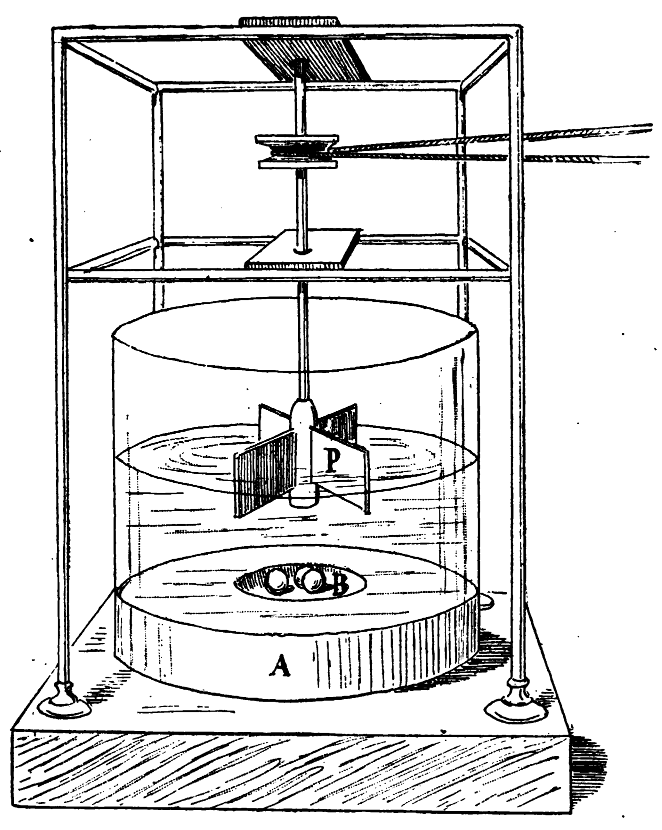


Fig. 21. — Appareil destiné à la reproduction expérimentale des marmites de géants.

la surface de laquelle on fait tourner une roue à palette dont l'axe est verticale. Cette roue P, actionnée par la turbine du laboratoire, entraîne peu à peu dans son

mouvement tourbillonnaire l'eau qui, à son tour met, en mouvement des billes B déposées dans une dépression ménagée au milieu d'un gâteau A de matière peu résistante. J'ai employé tantôt de l'argile ou du plâtre encore mou qui ont l'inconvénient de salir l'eau et de masquer les progrès du phénomène, tantôt de la cire à modeler qui convient beaucoup mieux, pourvu que la température ne soit pas trop basse.

L'effet obtenu consiste en une dépression dont la forme est d'abord celle d'une calotte sphérique. Peu à peu elle se modifie en cavité plus ou moins cylindroïde et, avec certaine vitesse, elle tend à devenir annulaire autour d'un axe qui persiste dans sa région médiane.

Cette dernière condition est souvent réalisée dans la nature, et on peut rappeler les marmites du littoral de Biarritz, entre le Vieux Port et la Côte des Basques, où des quilles du même genre persistent très souvent.

C'est justement à cause de la tendance à la production des quilles, en conséquence de la force centrifuge développée dans les marmites, qu'il convient de mettre les billes dans une cavité centrale ménagée à l'avance. Autrement, elles sont emportées vers la périphérie du vase de verre et y creuse une gorge annulaire (1).

20. — Production des méandres.

L'expérience consiste à soumettre un mélange de plâtre et de sable à l'action d'un filet oblique d'eau.

La figure 22 représente le dispositif adopté. On commence par préparer une dalle, en mélangeant 4 parties de sable fin et 1 partie de plâtre à mouler, que l'on gâche dans une quantité d'eau convenable pour donner la consistance désirée. La dalle étant placée sur une mince planchette, on la dispose avec l'inclinaison représentée dans la figure. On fait alors arriver par le milieu de son bord supérieur un filet d'eau fourni par un tube de caoutchouc, auquel on donne une inclinaison conve-

---

(1) V. p. 163 des expériences sur le rôle géologique de la force centrifuge.

nable par rapport à la ligne de plus grande pente de la dalle. On règle la force de l'eau à l'aide d'un robinet, et l'on peut ainsi faire varier beaucoup les résultats.

Avec de certains mélanges de sable et de plâtre et une inclinaison convenable du filet d'eau amené par

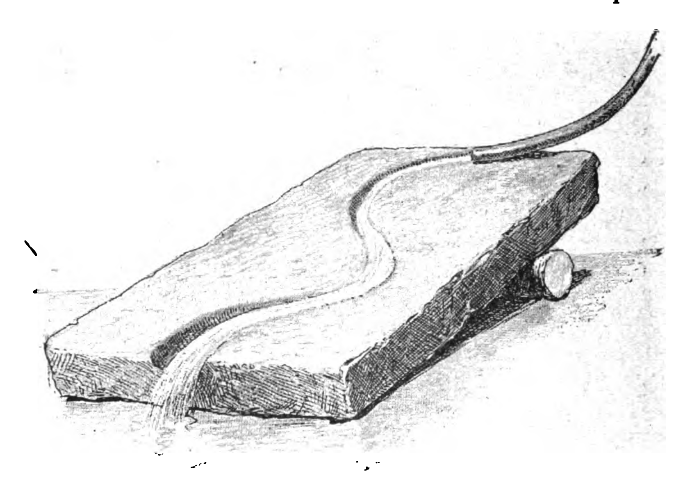


Fig. 22. — Reproduction artificielle des méandres des rivières.

le tube de caoutchouc, on voit le sillon érosif se déplacer comme une rivière le fait dans la nature. Il faut donner d'abord à la surface supérieure de la matière une forme en gouttière très surbaissée et très élargie.

21. — Moulage de filets d'eau sur les plages marines à marée basse et spécialement sur la plage de Saint-Lunaire (Ille-et-Vilaine). — Certains de ces filets déjà décrits au nº 8, permettent d'apprécier bien des faits concernant la production des méandres, et si leur étude passive est du domaine de l'observation, il se trouve que la méthode expérimentale peut intervenir aussi à leur égard. Il est en effet possible de modifier les écoulements spontanés,

de faire varier leurs caractères et de tirer des variations systématiquement provoquées des notions applicables à l'histoire des cours d'eau.

Ces résultats peuvent être conservés (fig. 23) à l'aide de moulage. Il est très intéressant de constater en effet,

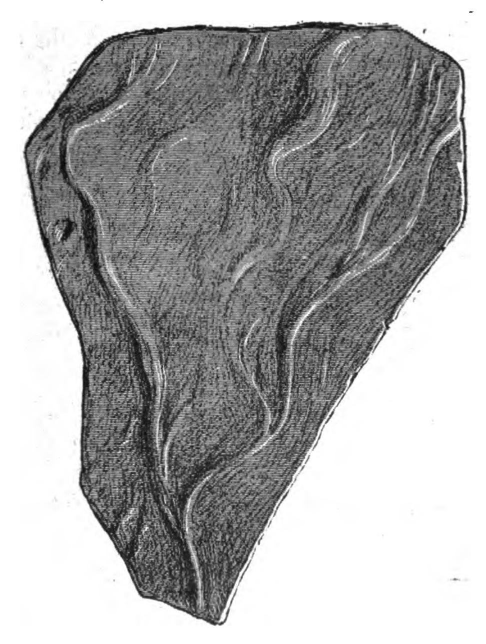


Fig. 23. — Moulage au plâtre des ravinements produits sur le sable des plages marines par les filets d'eau rappelés par le reflux.

qu'en conséquence des lois de la dialyse, les moulages au plâtre ordinaire se font sur les plages marines avec une facilité toute particulière. Si l'on verse du plâtre gâché clair à l'eau douce, comme on le gâche d'ordinaire, sur le sable sorti des flots à marée basse, on voit que la *prise* se fait presque instantanément.

C'est que l'eau salée interposée entre les grains de sable, appelle énergiquement à elle l'eau douce contenue dans le plâtre. On peut relever presque immédiatement les moulages, et conserver ainsi toutes les particularités naturelles, ou provoquées, de ces rivières en miniatures.

22. — Écoulement progressif des méandres.

On imite ce phénomène sur une grande feuille de carton noircie déformée en large gouttière et dans laquelle on agite convenablement une lourde corde ou un gros tube de caoutchouc dont la surface est enduite de blanc

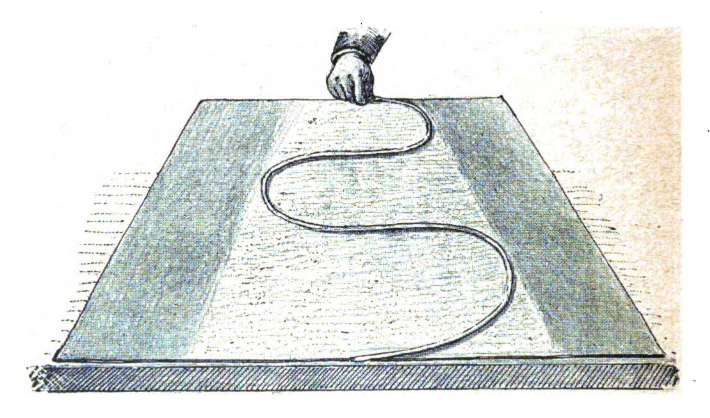


Fig. 24. — Imitation artificielle des méandres des rivières et de l'extension qu'elles réalisent d'une nappe de diluvium sur le fond des vallées.

d'Espagne. Au bout de peu de temps, on voit se produire une large bande blanche continue qui montre que le filet a successivement touché tous les points de son substratum.

Cette expérience présente une conformité remarquable avec les conditions dynamiques du phénomène naturel.

La figure 24 montre comment on opère : la feuille de carton noircie étant inclinée, on y place une corde (ou un

gros tube de caoutchouc, qui convient très bien), dont la surface a été préalablement enduite de craie en poudre fine. En agitant parallèlement au bord supérieur du carton, la corée dont il s'agit, on l'infléchit d'une façon alternative et les choses se passent comme si chaque inflexion prise en particulier descendait le long de la feuille depuis son bord supérieur jusqu'au bord opposé.

Le point intéressant c'est que, malgré la très inégale rapidité des phénomènes, les choses se passent exactement de même pour les filets d'eau de la nature : par suite de l'érosion des rives concaves et des atterrissements des rives convexes, le cours d'eau se déplace tout entier et de la même façon que la corde. Aussi peut-on voir dans les nappes de diluvium étendues au fond des vallées l'exact correspondant de la couche de craie blanche qui, après une petite durée de l'expérience, colore la zone médiane de la feuille.

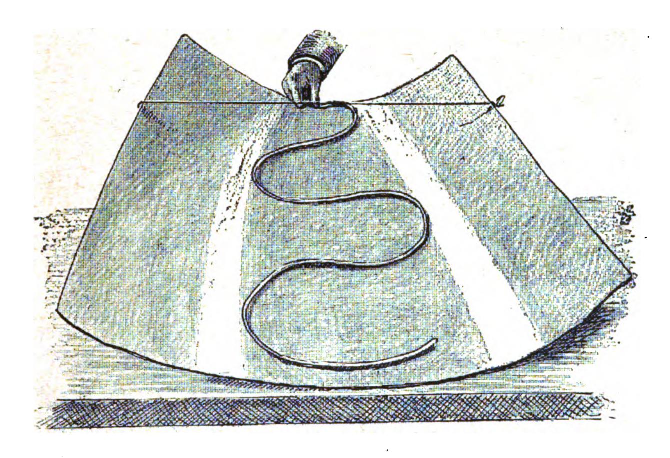


Fig. 25. — Continuation de l'expérience précédente : imitation des *terrasses* adjacentes aux rivières et aux fleuves.

Mais on peut aller plus loin et c'est ce que représente la figure 25.

Cette figure montre le résultat qu'on obtient, quand, après avoir infléchi le carton à l'aide d'une ficelle transversale, on agite de nouveau la corde comme précédemment et avec la même intensité d'impulsion transversale. On voit que les divagations à droite et à gauche de la ligne moyenne sont moins étendues : pour rendre le fait très visible, on peut recouvrir la corde d'une poussière rouge et, par exemple, de sanguine et on voit se faire alors une bande rouge encadrée de deux lisérés blancs qui sont les restes de la bande blanche du premier temps.

La poudre rouge en ne marquant pas toute la zone blanche, montre qu'une marge précédemment accessible à la corde représentant le fleuve, lui est maintenant interdite. C'est exactement la cause en conséquence de laquelle les terrasses, lambeaux non baignés désormais de diluvium précédemment étalé, se constituent sur les deux versants des vallées.

La courbure donnée au carton représente le creusement que la vallée a subi du fait du passage des eaux pendant un certain temps, et cette courbure, comme l'approfondissement naturel, empêche les méandres de s'étendre aussi loin que précédemment de part et d'autre de la ligne de plus grande pente.

§ 3. — *Érosion souterraine.*

23. — Imitation des galets impressionnés.

Billes placées dans un entonnoir en présence d'eau acidulée (Expérience de M. Daubrée) (fig. 26).

Des billes calcaires étant accumulées dans un entonnoir de verre, on fait tomber sur elle, goutte à goutte et de façon qu'elles ne soient jamais complètement mouillées, une dissolution d'acide chlorhydrique très faible.

Par capillarité, le liquide est retenu exclusivement aux points de contact des sphérules et c'est seulement là qu'il exerce son action dissolvante, de façon qu'après une certaine durée de l'expérience, les billes présentent

des corrosions localisées dans les régions où elles touchaient leurs voisines (fig. 27).

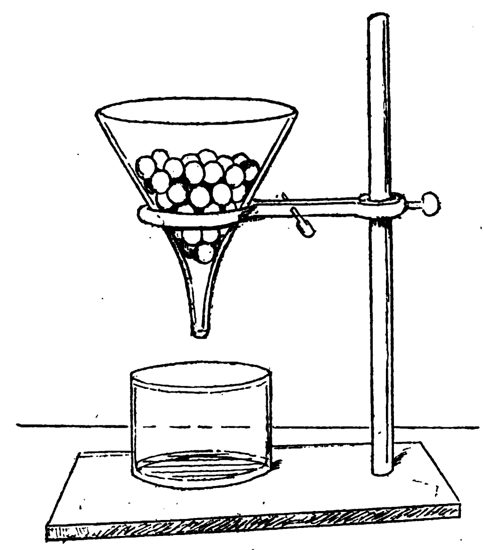


Fig. 26. — Expérience disposée par Daubrée pour imiter les « galets impressionnés ».

Il importe de rappeler que les couches du sol sont généralement bien plus humides que ne l'exige cette expérience et que les *impressions* se voient sur des galets de

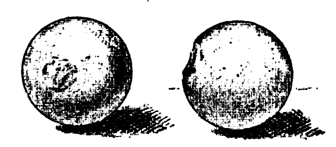


Fig. 27. — Deux billes retirées de l'entonnoir et montrant les *impressions* qui s'y sont produites.

nature chimique très diverse, les uns calcaires, d'autres quartzeux, avec des caractères identiques. Il est manifeste que d'habitude le phénomène est d'ordre mécanique et se rattache aux fortes pressions subies par le sol.

24. — Galets calcaires striées par un tassement lent. Appareil permettant aussi le striage des dalles par l'écoulement de gravier anguleux à sa surface.

L'étude des contre-coups mécaniques de la dénudation souterraine a d'abord été réalisée à l'aide de l'appareil de la figure 28.

Comme on le voit, c'est une espèce de caisse incomplète C, inclinée, dans laquelle on accumule des fragments de roches de diverses duretés, les uns anguleux comme des éclats de silex ou des grains de gros sable quartzeux, les autres arrondis comme des billes calcaires. On surcharge le tas de ces matériaux par un dalle D portant des poids P. Cela fait, on attaque l'édifice à l'aide d'un très violent jet d'eau E. Il y a écoulement, glissement et on en retrouve les contre-coups sur la surface des billes qui se montrent diversements rayées et striées.

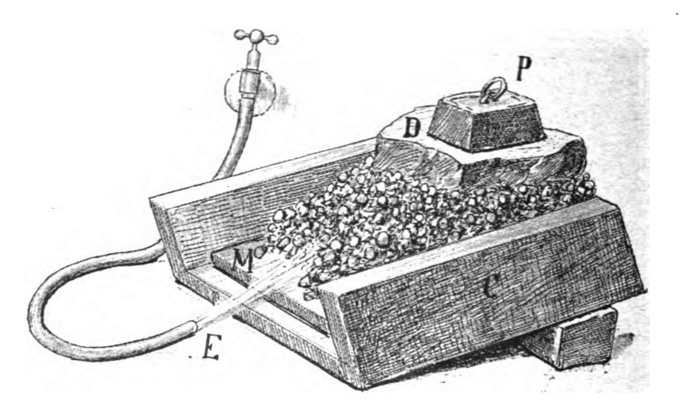


Fig. 28. — Appareil employé à l'étude des contre-coups mécaniques de la dénudation souterraine.

En plaçant. sous le monceau de fragments pierreux, une dalle polie M de roche tendre et, par exemple, de calcaire, on constate qu'après l'effondrement elle est rayée suivant la ligne de pente.

Ces expériences ont été tentées dans le but de montrer

que beaucoup de galets et de roches striés comme on rencontre dans les préalpes, ne doivent pas les stries qui les recouvrent à l'action des glaciers, ainsi que l'unanimité des géologues se l'imaginait. On trouvera dans la *Géologie générale* le résumé des études que comporte cet important sujet et l'on verra que, du fait des expériences, le domaine attribué jusqu'ici aux phénomènes glaciaires dans les régions montagneuses doit être considérablement réduit. On constatera même que, dans des moraines parfaitement constituées et dont l'origine glaciaire est incontestable, comme on en rencontre par exemple beaucoup dans les Vosges, les stries que présentent les galets engagés dans la boue et même le poli de ces galets ne peut pas être attribué aux glaciers. Sans épuiser le sujet qui reviendra un peu plus loin à propos de l'érosion mécanique réalisée par les glaciers, ajoutons seulement que l'appareil qui vient d'être décrit, a été remplacé dans les recherches plus récentes par un tout autre dispositif qui sera décrit sous le numéro 25.

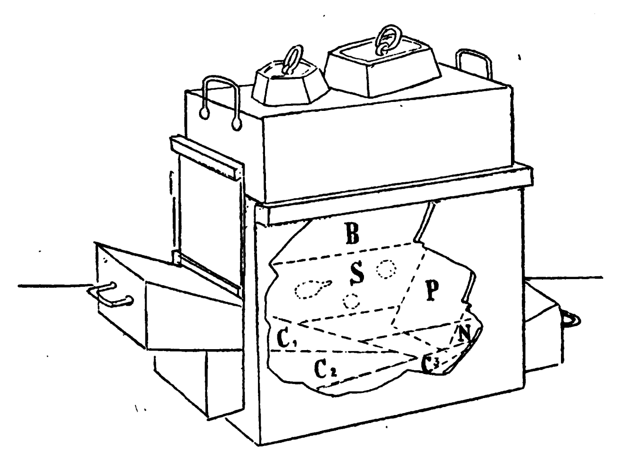


Fig. 29. — Appareil propre à la production artificielle des galets et des dalles striées par la dénudation souterraine.

25. — Appareil pour imiter le striage consécutif à

l'érosion souterraine et donnant leur signification correcte aux galets, improprement dits glaciaires, des Moraines des Vosges, des préalpes Vaudoises et de beaucoup d'autres régions analogues (fig. 29).

Cet appareil constitue sur le précédent un perfectionnement des plus importants. Il consiste en une solide caisse en bois surmontée d'un bloc B également en bois faisant couverture, capable d'entrer dans la caisse et qu'on peut surcharger de poids variables et parfois considérables. Les petits côtés de la caisse, qui est rectangulaire, sont ouverts de larges fenêtres que ferment à volonté des volets maintenus dans des glissières et pouvant se déplacer verticalement. Par les fenêtres, on peut faire pénétrer des coins de bois représentés en C_1, C_2 et C_3 et qui peuvent être retirés partiellement ou totalement, ensemble ou séparément, de façon à se prêter à des combinaisons très variées.

Mode opératoire : La caisse de l'appareil est remplie d'un mélange de sable quartzeux à grains assez gros et anguleux et de sel marin en poudre : on fait varier la pro-

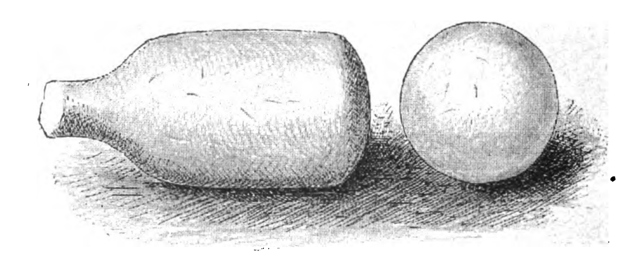


Fig. 30. — Ellipsoïde et sphéroïde de plâtre obtenus par moulage dans des vases de verre et striés dans l'appareil de la figure 29.

portion suivant les cas; souvent on met les deux substances à volumes égaux. Dans le mélange on dispose des sphéroïdes et des ellipsoïdes de plâtre, obtenus par moulage dans des ballons de verre, et dans des matras d'essayeurs et ainsi parfaitement polis. On surcharge le

tout d'une planchette portant 20 à 30 kilogrammes de poids, puis on détermine la dissolution du sel, par l'arrivée d'une quantité convenable d'eau, soit sous la forme d'un jet, soit en immergeant l'appareil dans un bassin. On voit alors se faire un écroulement qui s'accompagne de grincements caractéristiques. On en varie l'allure par le déplacement convenable des coins latéraux dont la caisse est pourvue. Quand le sel est dissous, on enlève les poids et on extrait avec précaution les fragments de plâtre.

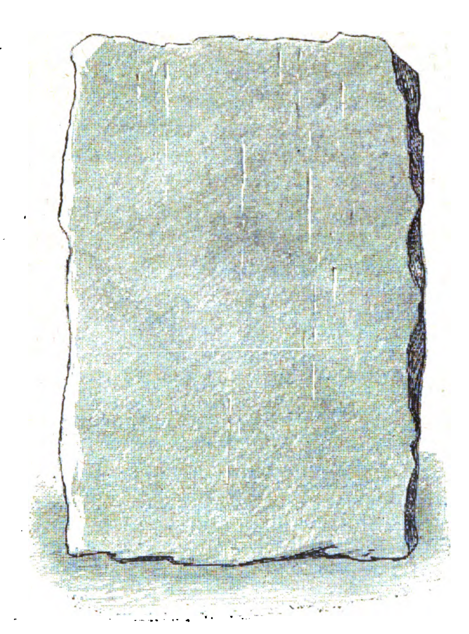


Fig. 31. — Dalle de plâtre à mouler, striée dans l'appareil de la figure 29.

Ceux-ci, dont on voit l'aspect dans la figure 30, présentent à leur surface des stries tout à fait caractéristiques et dont il est facile de constater l'étroite analogie avec les stries soi-disant glaciaires.

Par exemple, les stries sont dirigées indifféremment dans toutes les directions et le même sphéroïde peut en présenter en plusieurs sens. Après une seule expérience, elles sont peu nombreuses, mais il est clair qu'on les multiplierait aisément en remettant successivement le même plâtre dans l'appareil; il aurait alors une ressemblance avec les galets de la nature qui sont striés sur toutes leurs faces.

On peut, comme l'indique la figure 29, placer dans l'appareil une dalle plane de plâtre P, convenablement inclinée et obtenue par moulage dans une cuvette de porcelaine.

Après l'écroulement, on y voit (fig. 31) des stries qui présentent le caractère très remarquable d'être fréquemment interrompue, et parfois à plusieurs reprises, comme le sont, de leur côté, les stries des roches naturelles.

Ces expériences, qui peuvent être variées beaucoup, ont contribué à faire diminuer l'importance qu'on avait accordée inconsidérément, en certaines régions montagneuses, aux phénomènes glaciaires.

26. — Reproduction expérimentale des puits naturels. Cette reproduction suppose l'emploi d'un appareil pour attaquer les roches calcaires par un jet d'eau acidulée, dont on a la représentation dans la figure 32.

Il se compose, comme on voit, d'un réservoir F fournissant de l'eau additionnée d'une quantité, faible et déterminée, d'acide chlorhydrique, à la surface d'une roche calcaire B, en un point où une cavité se produit et s'accentue bientôt. Pratiquement, on envoie l'eau dans le flacon F à l'aide du robinet R et du tube T, et on ajoute dans le flaçon la proportion voulue d'acide. Il est commode d'ajouter un robinet au tube T' qui descend du robinet à la roche.

Si l'on a suffisamment étendu la dissolution, l'effervescence à la surface de la roche est extrêmement faible; mais on gagne du temps en opérant avec des liquides plus chargés et il y a intérêt à faire varier le mode opératoire, suivant le résultat qu'on désire obtenir.

27. — Perforation d'une poche en pleine masse de

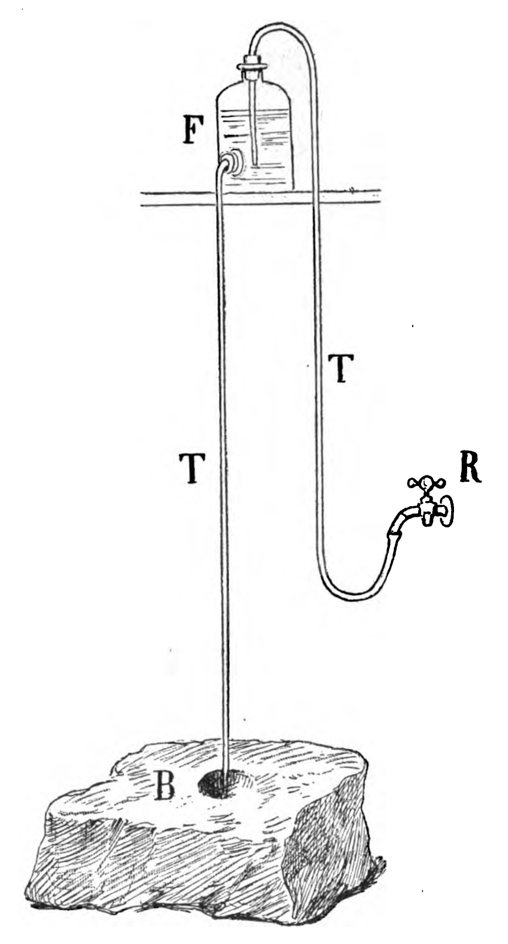


Fig. 32. — Appareil propre à l'imitation expérimentale des puits naturels.

calcaire. Forme des parois, accidentées de corniches au niveau des lits plus résistants.

La figure 33 est relative au résultat qui se manifeste rapidement quand on opère comme le représentait la figure 32. L'échantillon dessiné a été scié, suivant l'axe de la cavité, produite, pour en faire voir tous les accidents.

On constate que sa forme générale est celle d'un cône dont le sommet est à la partie inférieure, ou, suivant l'appellation consacrée, en *entonnoir*. Cependant, ses surfaces ne sont pas lisses, mais au contraire interrompues par des régions d'une saillie relative très sensible. Il en résulte comme des sortes de corniches qui trahissent l'inégale solubilité des différents lits dont la pierre calcaire à millioles est composée. Ce fait est intéressant à noter, parce qu'il reproduit, avec une fidélité complète, les particularités offertes par les parois des puits naturels. On pourrait s'en assurer par une simple visite dans

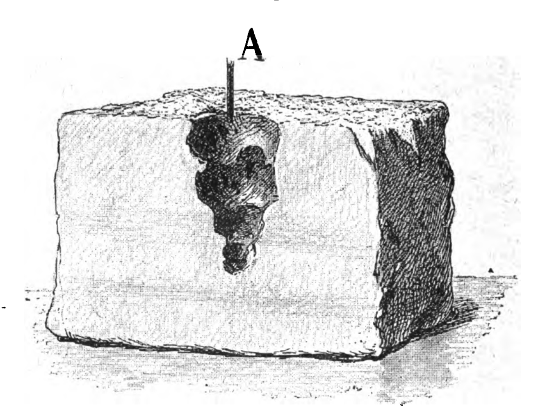


Fig. 33. — Résultat de l'expérience précédente : perforation dans du calcaire d'une poche en entonnoir. (L'échantillon est scié suivant l'axe de la poche.)

une localité bien choisie et, par exemple, à Ivry, à la porte même de Paris.

28. — Perforation totale d'une dalle de calcaire. Production de tubulures tendant à prendre la forme en éteignoir.

En continuant l'expérience décrite au n° 27, on constate que la cavité s'approfondit peu à peu et, au bout d'un temps convenable, la dalle de pierre est entière-

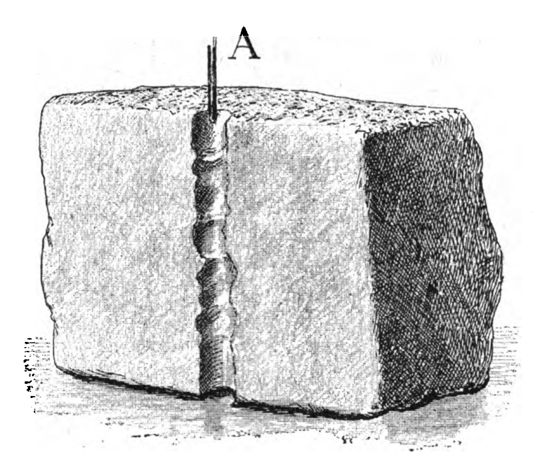


Fig. 34. — Perforation totale d'une dalle de calcaire par un jet descendant d'eau acidulée. (L'échantillon a été scié suivant l'axe de la tubulure.)

ment perforée. C'est ce que montre la figure 34 ; mais si l'on poursuit encore, et surtout si la dalle est placée sur une couche de sable de perméabilité convenable, on reconnaît que le diamètre de la perforation tend à s'élargir à sa partie inférieure, de sorte que la cavité tubulaire tend à prendre la forme d'un tronc de cône dont la grande base serait placée en bas.

29. — Perforation en pleine masse calcaire, par un jet ascendant d'eau acidulée (fig. 35).

On modifie légèrement l'appareil de la figure 32 en recourbant le tube qui descend du flacon réservoir, de façon que le jet d'eau acidulée qu'il débite soit projeté verticalement de bas en haut. On le fait ainsi arriver (fig. 35) à la surface inférieure du parallélipipède de calcaire et on voit une perforation se produire au contact du dissolvant.

En sciant ensuite l'échantillon, suivant l'axe de la perforation produite, on constate, comme le montre la

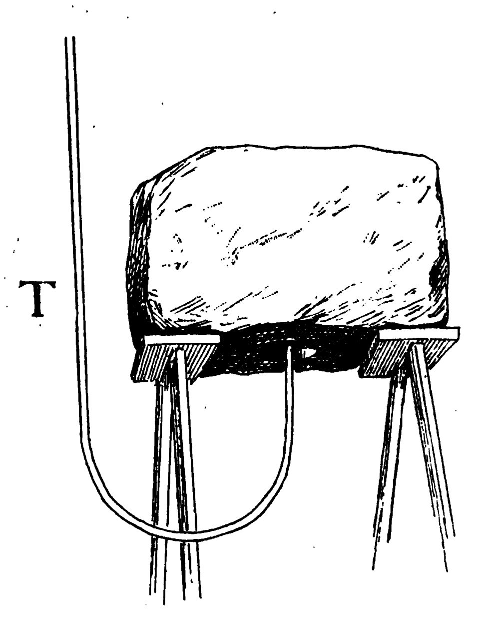


Fig. 35. — Perforation d'un bloc calcaire à l'aide d'un jet ascendant d'eau acidulée.

figure 36, que l'effet produit est pour ainsi dire *symétrique* de celui qui résultait des effets du jet descendant. C'est encore, comme dans la figure 33, une cavité conique qui se présente, mais cette fois la base du cône est à sa partie inférieure et la disposition n'est plus celle d'un entonnoir, mais celle d'un *éteignoir*.

Or cette remarque a un très grand intérêt, parce qu'on rencontre souvent dans la nature des associations d'entonnoirs et d'éteignoirs et que l'expérimentation permet de reconnaître le mode de perforation de chacune de ces catégories de cavités. Pour ne citer qu'un exemple, les célèbres mines de zinc du Laurium, en Grèce, présen-

tent des entonnoirs au mur des couches de schistes et

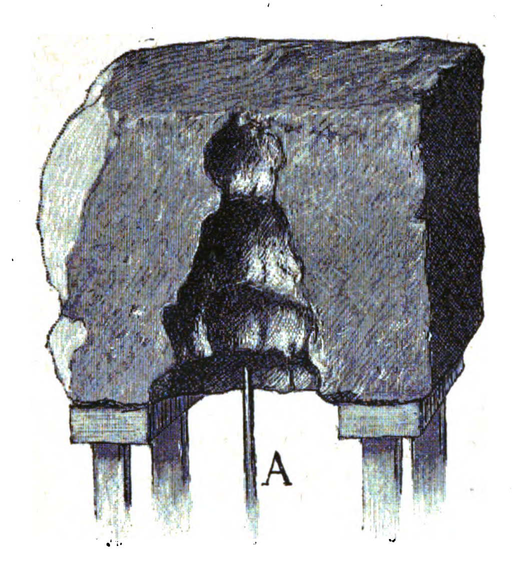


Fig. 36. — Coupe de l'échantillon précédent, suivant l'axe de la perforation produite.

des éteignoirs à leur toit, ce qui est conforme à ce qui vient d'être dit.

30. — Imitation des avens des Causses. Influence des fissures préexistantes sur l'érosion souterraine.

Les expériences précédentes ont reçu un complément des plus importants par des essais réalisés sur des roches préalablement fissurées.

On prend un parallélipipède de calcaire et avec une masse on en sépare un quart sous la forme d'un prisme, comme le montre la figure 37. On remet le bloc en place, mais en laissant la fissure bâiller assez largement, puis on y laisse filtrer le filet d'eau acidulé de la figure 32.

Le liquide corrosif s'insinue dans la roche, creuse un puits naturel qui correspond aux *Avens* des Causses,

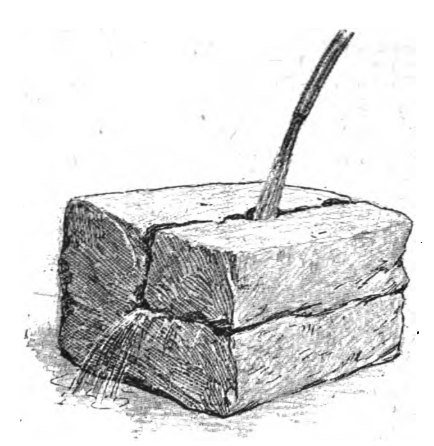


Fig. 37. — Imitation des cavernes par la corrosion d'un bloc calcaire fissuré.

puis sculpte, dans le sens transversal, des canaux représentés figure 38, et où l'on reconnaît les accidents de

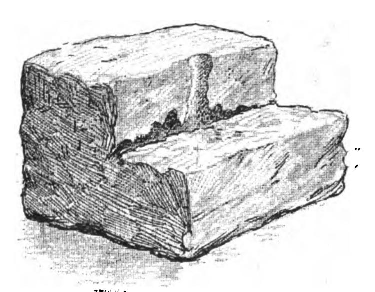


Fig. 38. — Résultat de l'expérience précédente.

forme des cavernes naturelles. On remarque surtout l'association des perforations verticales avec les perforations transversales, puis dans ces dernières, des inégalités locales qui produisent en petit les successions si

ordinaires de *salles* plus ou moins élevées et de *couloirs* qui les font mutuellement communiquer.

31. — Attaque d'une roche fissurée par un filet d'eau acidulée lancé horizontalement dans le plan de la fissure.

La figure 39 montre une variante intéressante de

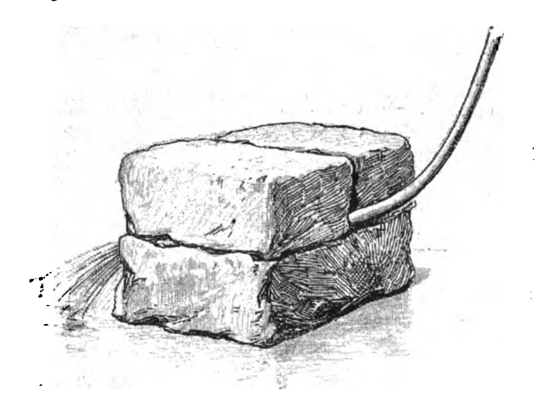


Fig. 39. — Attaque d'une roche fissurée par un courant horizontal d'eau acidulée.

l'expérience représentée figure 37. Elle consiste à faire arriver le courant corrosif, non plus par une fissure

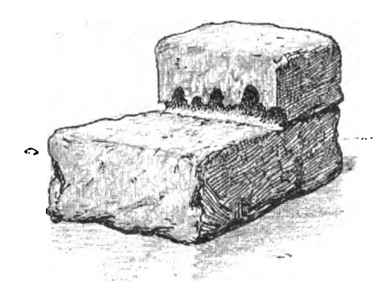


Fig. 40. — Résultat de l'expérience précédente.

verticale où se creuse un aven, mais directement par la fissure horizontale. Il y a alors très rapidement comme

une combinaison des effets décrits au n° 30 avec ceux qui concernent la dénudation subaérienne (voy. n° 14 et suiv.).

Non seulement il se fait une suite de cavernes, mais le sol de ces cavernes se sculpte d'une sorte de lit ou torrent, et c'est tout à fait comparable à ce que montrent beaucoup de cavernes naturelles. Un coup d'œil sur la figure 40 permettra d'apprécier le fait dont il s'agit.

§ 4. — *Érosion océanique ou lacustre.*

32. — Appareil à rotation déjà employé par Collomb, puis par Daubrée, pour la production des galets, des sables et des limons. Modification dans le système de rotation pour déterminer périodiquement un choc qui varie l'allure du frottement.

Le travail de dénudation des rivières prend une de ses formes les plus nettes dans la transformation en galets des fragments anguleux de roches qu'elles charrient. La matière enlevée à ces pierres pendant le travail d'arrondissement qu'elles éprouvent, se retrouve sous les deux formes principales de sable et de limon.

On imite les effets mécaniques des rivières à l'aide de l'appareil représenté figure 41 et dont l'idée première semble avoir été émise par Ed. Collomb.

Il consiste en quatre pots en grès, solidement assujettis dans un bâti de bois monté sur un axe de fer et qu'on peut animer d'un mouvement de rotation. Dans les pots sont placés des fragments anguleux de la roche qu'on étudie, avec une quantité d'eau que l'on mesure et qui peut varier d'un essai à un autre. On peut aussi suspendre dans l'eau une certaine proportion de sable. En comptant le nombre de tours faits, il est facile de voir que l'usure est proportionnel au temps, c'est-à-dire au chemin parcouru par les fragments rocheux. Il faut cependant, pour que les calculs soient exacts, ne pas dépasser une certaine vitesse à partir de laquelle les fragments sont immobilisés par la force centrifuge sur la paroi des pots qui est animée de la plus grande

vitesse angulaire et dès lors l'usure s'arrête complètement. On ne peut pas non plus égaler légitimement le chemin parcouru par un fragment, pris en particulier, à celui qu'a fait un point de l'un des vases. Le calcul est plus compliqué et on constate que les fragments ont des allures très variées suivant les cas.

J'ai ajouté à l'appareil un excentrique qui complique

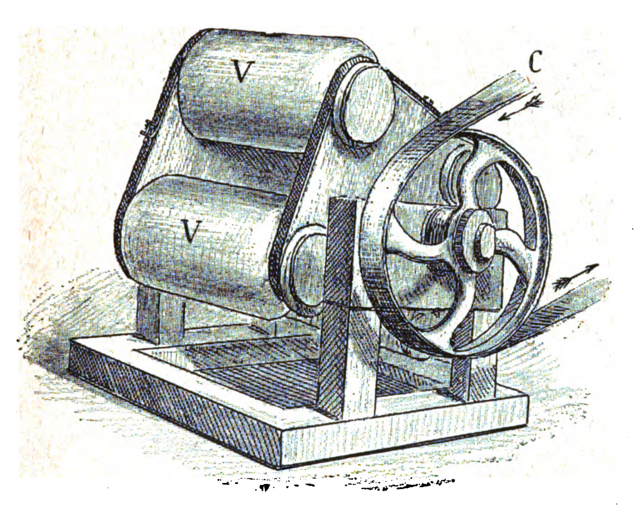


Fig. 41. — Appareil propre à la transformation des pierres anguleuses en galets, avec production de sable et de limon

le mouvement, introduit des chocs parmi les frottements et rapproche les conditions de l'expérience des dispositions naturelles.

Avec cet appareil, on fabrique des galets qui présentent tous les détails de forme non seulement des galets des rivières et des torrents, mais de ceux de la mer et des lacs.

Avec les galets, on trouve dans les pots des particules fines constituant des sables et des limons. Pour les sables, il est intéressant de rattacher à la vitesse des grains les formes qu'ils ont acquises. Pour les limons,

il y a lieu de considérer le temps qu'ils emploient, suivant les cas, à se déposer.

On verra dans la collection des galets produits par le granit, la téphrine et d'autres roches qui ont été étudiées par M. Daubrée.

Le même auteur a donné au Muséum des sables et des limons produits par les mêmes roches.

§ 5. — *Erosion glaciaire.*

33. — Progression des glaciers.

Imitation des crevasses glaciaires dans l'argile plastique étirée (fig. 42).

Bien que la glace soit éminemment fragile et cassante,

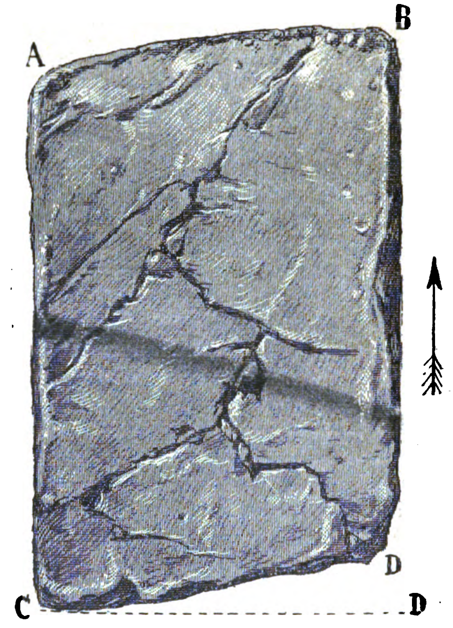


Fig. 42. — Imitation des crevasses glaciaires.

un grand nombre de ses allures dans les vallées où elle s'écoule peuvent être imitées à l'aide de substances plas-

tiques. Le regel qui ressoude à chaque instant les fragments dans lesquels la pression la réduit, simule exactement la faculté dont jouit l'argile de prendre toujours la forme des surfaces qui la compriment. On a profité de cette circonstance dans une expérience qui procure la reproduction artificielle des crevasses glaciaires.

On prend (fig. 42) une plaque d'argile rectangulaire et très corroyée de 1 à 2 centimètres d'épaisseur et on la dispose sur une planchette bien rabotée de façon qu'un de ses grands côtés, A C, par exemple, soit maintenu fixe. On exerce alors sur le côté opposé B D une pression dont le sens est figuré par la flèche ; le glissement se produit et comme il a lieu par l'une des bases par rapport à l'autre comme dans les régions des glaciers où le thalweg de leur vallée subit une inflexion, on voit s'ouvrir tout un système de fissures qui reproduisent dans tous les détails les crevasses des glaciers.

34. — Expérience de striage de marbre à l'aide de sable pris sous une feuille de caoutchouc.

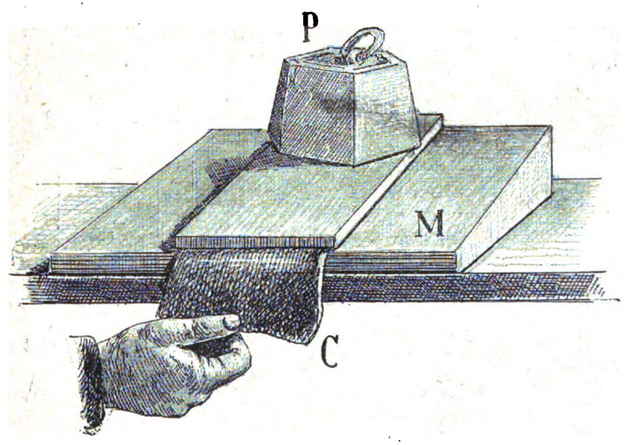


Fig. 43. — Expérience de M. Falsan pour imiter le striage des roches par les glaciers.

M. Falsan, professeur à la Faculté des sciences de

Lyon, a reproduit tous les caractères essentiels des stries glaciaires à l'aide du dispositif représenté dans la figure 43. Une plaque inclinée de marbre préalablement poli M représentant le fond de la vallée, on dispose à sa surface une petite quantité de sable quartzeux qu'on recouvre d'une bande de caoutchouc, dont l'extrémité postérieure est fixée, tandis que l'autre pourra être tirée avec la main, comme on le voit en C. Sur le caoutchouc est disposé une planchette supportant un poids P qui représente la pression verticale du glacier.

On exerce alors sur le caoutchouc des séries de tractions très variées et on reconnaît, en démontant l'appareil, que la roche calcaire est couverte de striations, ayant beaucoup des caractères de celles qu'on se proposait d'imiter.

35. — Appareil à strier les roches.

M. Daubrée a décrit l'appareil représenté ci-dessous dans notre figure 44 et qu'on peut employer à l'étude du striage des roches : c'est en somme l'instrument même que le physicien Coulomb a naguère mis en œuvre dans sa célèbre étude expérimentale de la dureté des corps solides et qu'on doit regarder comme l'origine de tous les scléromètres modernes. La roche en expérience D

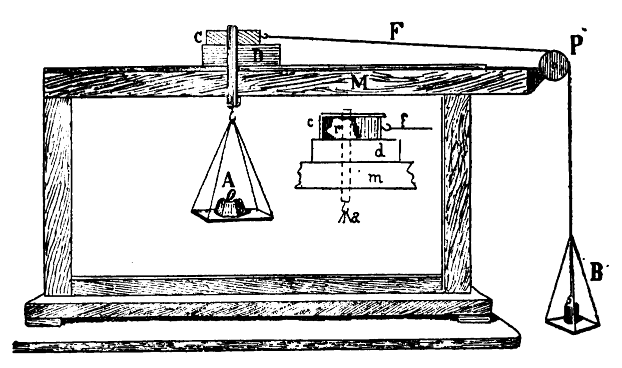


Fig. 44. — Appareil propre à l'étude du striage des roches

est placée sur un châssis M en bois de forme convenable et solidement retenu dans une position fixe. On dispose

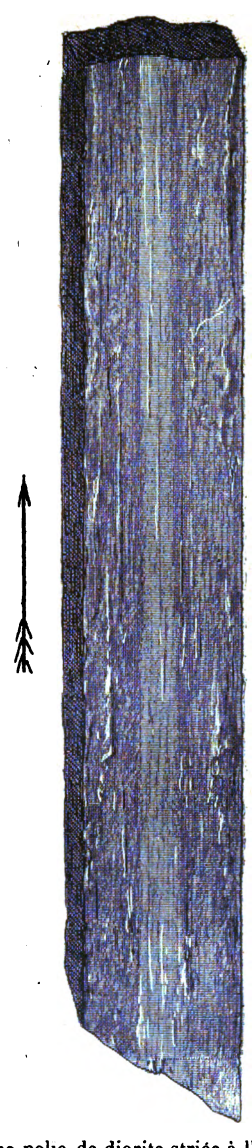


Fig. 45. — Plaque polie de diorite striée à l'aide de l'appareil de la figure 44 et présentant de l'analogie avec les roches rabotées par les glaciers.

4

sur elle un petit chariot C dont le fond manque et qui contient un fragment de roche, tel qu'un galet ou un éclat solidement assujetti afin qu'il ne tourne pas sur lui-même. Un étrier permet de pousser cet éclat ou ce galet, sur la roche, en expérience grâce aux poids A qui y sont suspendus. Une corde F étant fixée au chariot C et engagée sur la poulie P, on exerce sur elle une traction horizontale réglée par les poids du plateau B. En faisant varier les deux charges A et B, on arrive à préciser les conditions les plus importantes du problème.

36. — Diorite strié avec l'appareil précédent.

C'est comme exemple des résultats que procure l'emploi de l'appareil précédent qu'on a exposé la dalle de diorite représentée figure 45. Elle avait été préalablement polie avec un grand soin. La flèche indique le sens de la friction qu'elle a subie.

§ 6. — *Erosion éolienne.*

37. — Appareil de M. Thoulet pour l'étude de l'abrasion.

Cet élégant appareil, dont l'auteur a fait don à la collection de Géologie expérimentale du Muséum, a pour but de faire agir du sable charrié par un courant d'air sur la surface d'une roche convenablement disposée.

Le sable est placé dans un réservoir R (fig. 46) d'où il s'écoule par un tube dans lequel débouche la tuyère S d'une soufflerie : il est ainsi emporté horizontalement dans une caisse en bois représentée au trait à la gauche de la figure et qui contient en P la matière rocheuse soumise à l'étude.

Le sable en excès après l'expérience passe avec le courant d'air dans les flacons latéraux.

On peut faire varier la nature de la poussière comme la nature de la roche essayée, la position de celle-ci et la vitesse du courant d'air, et beaucoup d'autres influences.

La plaque représentée figure 47 fait partie d'un choix de résultats obtenus avec l'appareil précédent. Elle montre le produit de huit expériences successives.

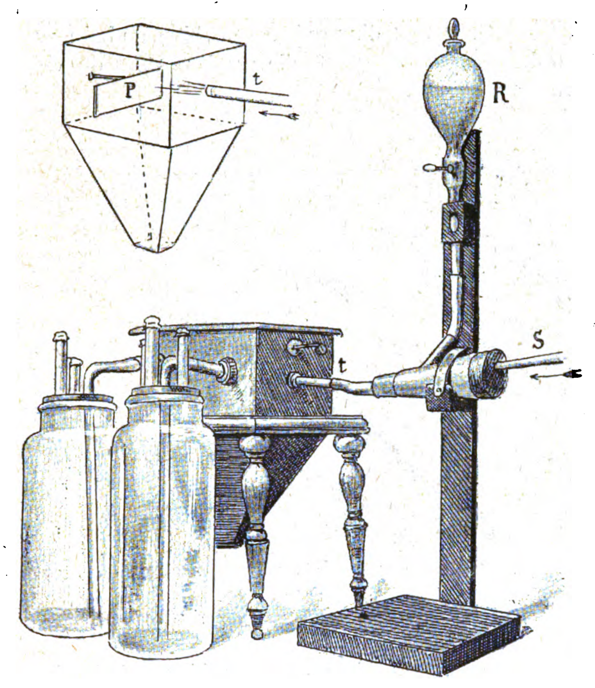


Fig. 46. — Appareil de M. Thoulet pour l'étude de la dénudation éolienne.

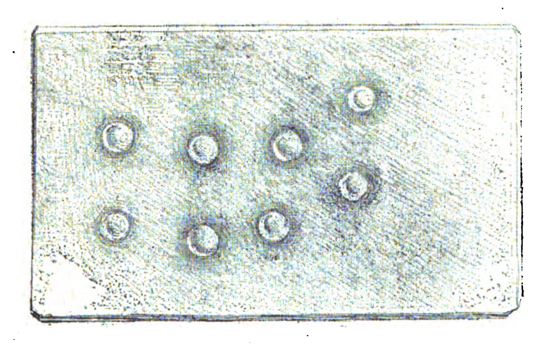


Fig. 47. — Une plaque de roche soumise dans l'appareil précédent à l'action érosive de jets d'air chargés de poussières. Cette même plaque a servi à huit expériences successives.

38. — **Fragment d'une vitre de cabine de bain provenant du Bourg-de-Batz, dépolie par les sables des dunes portés par le vent.**

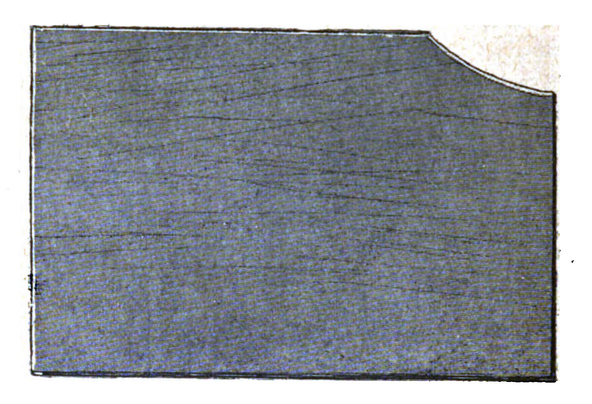


Fig. 48. — Fragment d'une vitre de cabine de bain, rayée par le sable charrié par le vent.

Il s'agit là d'une vraie expérience, bien qu'elle ait été involontaire : la vitre a été artificiellement disposée dans une situation où elle a pu éprouver les effets de la dénudation éolienne et éclairer par conséquent l'histoire des roches qui, dans la nature, subissent des influences analogues.

§ 7. — *Érosion biologique.*

39. — **Expérience de Sachs : plaque de marbre corrodée par des haricots en germination.**

On recouvre de terre végétale une plaque de marbre parfaitement polie, et l'on y abandonne dans les conditions favorables à la germination un certain nombre de haricots. Quand les plantes ont atteint une dimension convenable, on lave la plaque calcaire et on constate à sa surface le

réseau des corrosions déterminées par les racines et qui a les mêmes inflexions qu'elles (fig. 49).

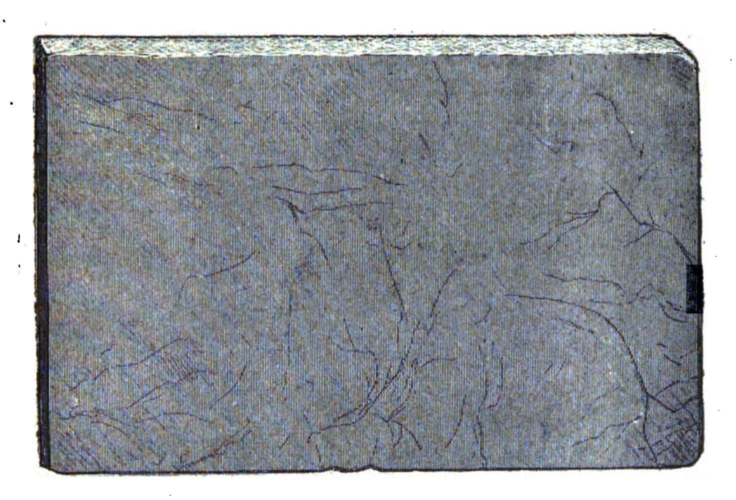


Fig. 49. — Plaque de marbre blanc à la surface de laquelle des racines de haricots ont, au cours de leur croissance, imprimé en creux tous les détails de leur ramification.

Cette expérience a un très grand intérêt en faisant apprécier directement l'efficacité dénudatrice des végétaux de toutes les catégories botaniques.

§ 8. — *Sédimentation pluviaire.*

40. — Imitation artificielle de l'argile à silex par arrosage d'un bloc de craie avec de l'eau acidulée.

On sait combien on a discuté sur l'âge et sur le mode de formation de l'argile à silex. Les divergences d'opinion persisteraient sans doute encore si la méthode expérimentale n'était venue jeter un jour définitif sur la question. La figure 50 montre comment on peut fabriquer artificiellement de l'argile à silex. On prend un parallélipipède de craie contenant des fragments siliceux, ou bien on dispose des rognons insolubles dans une pâte, gâchée dans l'eau, de craie pulvérisée. On fait ensuite

tomber sur l'une des faces de ce bloc une pluie dont l'eau est additionnée d'une petite quantité d'acide chlorhydrique destiné à représenter l'acide carbonique de la pluie naturelle, tout en jouissant d'un pouvoir corrosif plus intense. Au bout d'un temps d'autant plus court que la liqueur est plus active, on voit la surface supérieure laisser apparaître les rognons siliceux mélangés des éléments argileux et sableux que renfermait normalement la

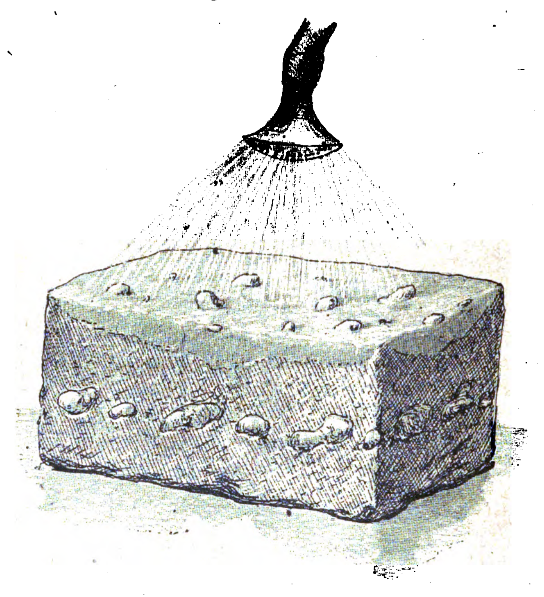


Fig. 50. — Imitation artificielle de l'argile à silex.

craie. Plus l'expérience dure longtemps, plus l'épaisseur augmente de ce *terrain superficiel* qui présente avec l'argile à silex les analogies les plus intimes.

41. — Imitation artificielle des sables superficiels des calcaires arénifères par arrosage d'un bloc de calcaire grossier avec de l'eau acidulée. C'est l'expérience précédente, où la craie est remplacée par un bloc de calcaire arénifère.

42. — Imitation de l'argile plastique par attaque de la craie blanche. C'est encore la même expérience, mais réalisée avec de la craie ne contenant pas de silex.

43. — Appareil pour l'étude des épanchements boueux.

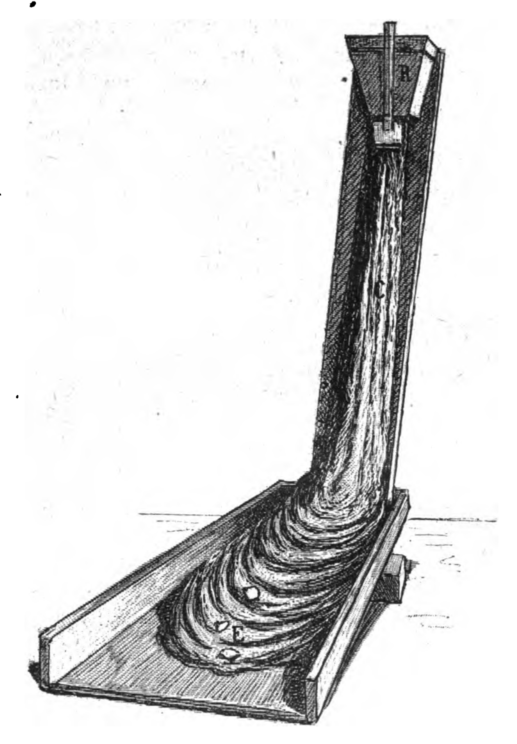


Fig. 51. — Appareil pour l'étude expérimentale des épanchements boueux.

Cet appareil a été construit pour imiter artificiellement la production, si fréquente dans les régions montagneuses, de placages de terrains boueux amenés des parties hautes jusqu'au fond des vallées par les eaux de ruissellement.

La figure 51 représente l'une des dispositions adoptées

au laboratoire du Muséum. L'appareil consiste en une table de 66 centimètres de large et de 4 mètres de longueur dont l'inclinaison est variable à volonté et au haut bout de laquelle arrive une glissière de 3 mètres de long très redressée qui reçoit la boue renfermée, sous le poids de 35 kilogrammes environ, dans un réservoir R qu'on peut ouvrir brusquement. La boue descend d'abord le long de la glissière, puis vient s'étaler sur la table sous la forme d'un delta E.

Les résultats obtenus avec l'appareil précédent sont

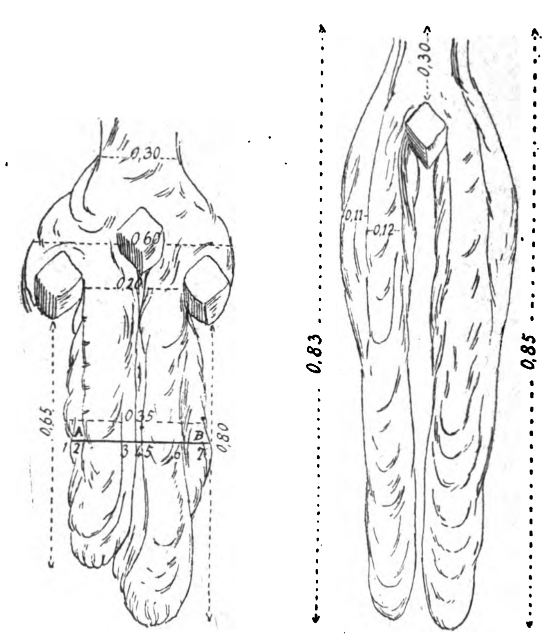


Fig. 52. — Deux spécimens des résultats procurés par l'appareil précédent.

très variés et éclairent entièrement l'histoire des épanchements boueux. On a exposé pendant un temps les deux spécimens représentés figure 52, mais leur conservation indéfinie n'a pas été possible.

A droite, on voit comment un épanchement boueux a pu être divisé en deux bras par un obstacle placé au milieu de sa largeur. A gauche, on voit comment deux bras préparés de cette façon ont put être rapprochés de manière à constituer un nouvel épanchement unique. Dans tous les cas on constate la constitution du lit de boue immobile sur lequel se fait le glissement de la boue fluide. On peut déterminer le transport de blocs rocheux soit dans la masse de la boue, soit à sa surface. Les conséquences de ces expériences concernent, en partie, le discernement dont il faut faire usage dans la détermination de formations naturelles qu'on pourrait confondre à première vue avec les dépôts glaciaires.

§ 9. — *Sédimentation fluviaire.*

44. — Triage, à l'aide d'un filet d'eau, de grains minéraux mélangés sur un plan incliné.

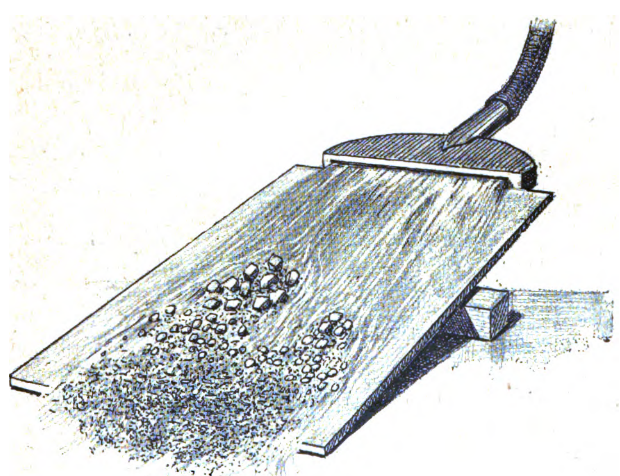


Fig. 53. — Etude expérimentale des triages réalisés par les cours d'eau.

L'appareil représenté figure 53 montre l'un des procédés commodes pour analyser la mécanique des cours d'eau

Sur une dalle convenablement inclinée, on dispose un ajutage en fente horizontale, alimenté par l'eau sous pression d'un robinet : la dalle reçoit ainsi une lame d'eau qui la couvre et qui la lave avec une vitesse variable à volonté. On donne à remanier au liquide un amas de matériaux divers : galets, sables et limons, sur lesquels il peut travailler.

On constate immédiatement la précision avec laquelle se fait le classement des matières d'abord mélangées. Avec une vitesse d'eau appropriée, les graviers restent sensiblement en place, mais ils sont bientôt tout à fait débarrassés des particules plus fines ; et celles-ci sont entraînées à des distances qui sont strictement réglées par leur poids, par leurs dimensions et par leurs formes. Avec une dalle plus longue, on arrive à faire ainsi des séparations extrêmement précises.

45. — Déplacement progressif des tas de sable par un filet d'eau. Imitation de la sériation des îles.

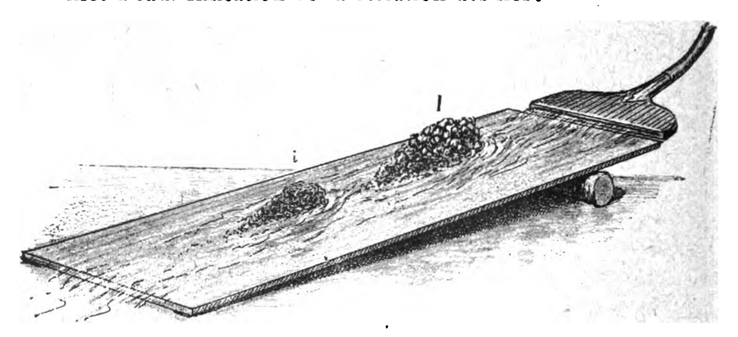


Fig. 54. — Imitation expérimentale du déplacement progressif des bancs de sable dans les rivières.

En employant des tas de sable dont les grains sont moins différents les unes des autres et en faisant intervenir un courant moins rapide, enfin en opérant sur une dalle moins inclinée, on assiste au déplacement d'amas I (fig. 54), qui se comportent comme les bancs de sable des rivières. Il est facile d'étudier l'influence d'obs-

tacles placés en aval des tas et derrière lesquels la sédimentation s'exerce de préférence.

46. — Extension d'une berge plate par un filet d'eau dont la vitesse est amortie.

Bien des particularités de la sédimentation fluviaire peuvent être imitées par le dispositif représenté dans la figure 55.

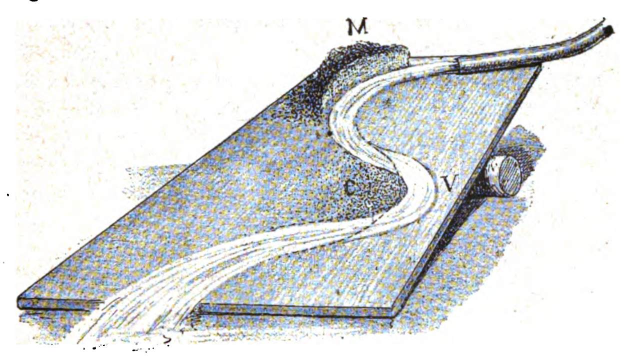


Fig. 55. — Imitation expérimentale des alluvionnements propres aux berges convexes des méandres fluviaires.

Par exemple, on peut compliquer l'expérience relative aux méandres fluviaires et qui a été représentée antérieurement (fig. 22) en disposant au premier tournant du courant M (fig. 55) une accumulation de matériaux sableux et limoneux. En effet, une notable partie de ceux-ci va se déposer en C, c'est-à-dire au tournant convexe qui se présente au-dessous. Ce dépôt contribue d'ailleurs comme il le fait dans la nature, au déplacement des méandres.

47. — Distance à laquelle un dépôt fluviaire se fait de la berge sur laquelle le courant se réfléchit (fig. 56).

Les particules déposées par l'eau représentent dans leur agencement de véritables stéréogrammes de la distribution des vitesses dans la masse liquide. Chaque grain se dépose dans un point strictement défini d'après les qualités physiques dont il jouit : densité, forme et

poids. A chaque nouvelle perte de la force vive initiale correspond la précipitation d'une nouvelle catégorie de matériaux. Par exemple quand un courant rapide entraînant des troubles vient se heurter contre un obstacle et s'y réfléchit, il constitue bientôt un bourrelet sédimen-

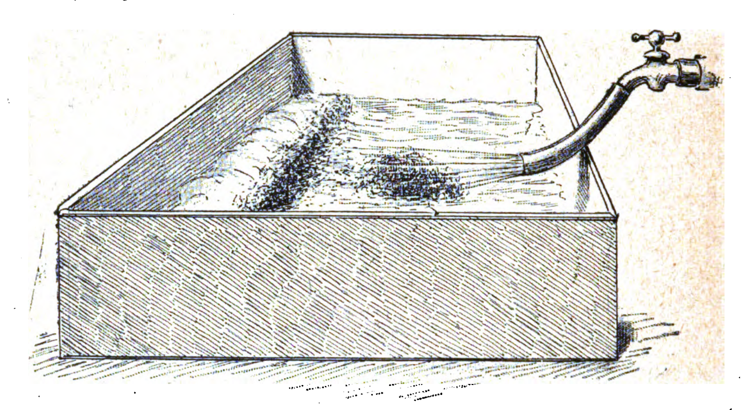


Fig. 56. — Influence de la réflexion des courants aqueux sur un obstacle quant à la disposition des masses sédimentaires.

taire parallèlement à la surface réfléchissante. C'est ce que montre bien l'expérience dont la figure 56 reproduit le dispositif. On peut noter que la sédimentation éolienne donne lieu aux mêmes effets, dont l'observation est favorable à des conséquences variées.

§ 10. — *Sédimentation océanique ou lacustre.*

48. — Appareil pour étudier le triage des minéraux par leur chute au travers d'une épaisseur suffisante d'eau (fig. 57).

L'appareil se compose d'un tube de verre de 5 millimètres de diamètre et de 5 mètres de longueur et qui est maintenu dans une position verticale et fermé inférieurement par un robinet R. Après l'avoir complètement rempli d'eau, on y jette la poussière préalablement calibrée, avec deux tamis, de la roche complexe qu'on

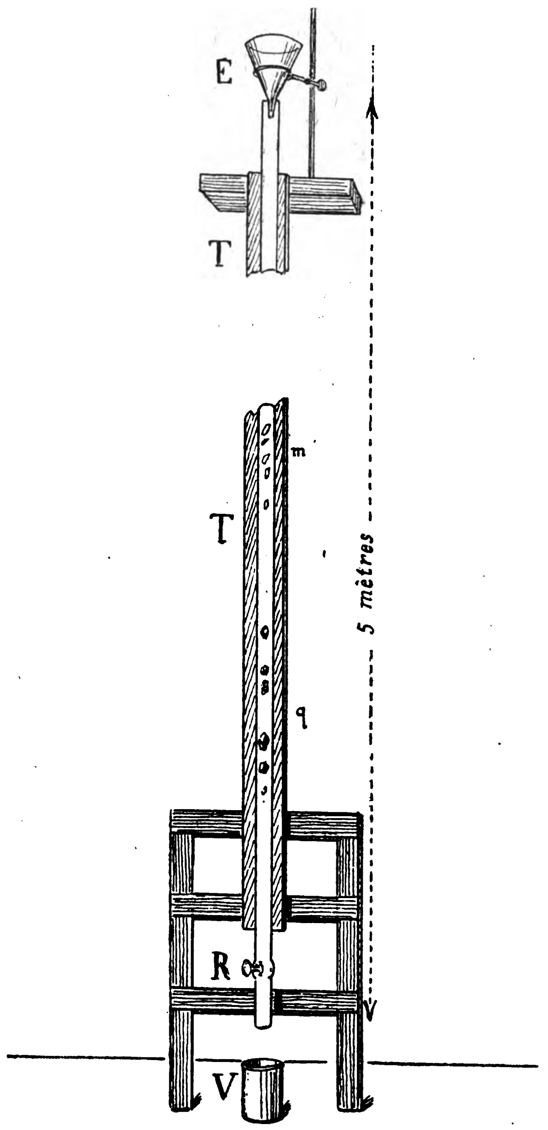


Fig. 57.— Appareil propre au triage des minéraux par la chute verticale au travers de 5 mètres d'eau.

veut étudier. On constate qu'au fur et à mesure de la descente, les minéraux se séparent les uns des autres et constituent chacun un petit peloton *m*, *q*, qui s'isole de plus en plus. En faisant jouer le robinet au moment opportun, on peut recueillir dans le vase V une espèce séparée des autres.

La figure représente le cas de l'analyse d'un greisen, et bien que les densités des deux minéraux constituant mica et quartz soient extrêmement voisines (2,78 et 2,65), avec maximum pour le mica, la séparation se fait à l'instant, le quartz *q*, tombant beaucoup plus vite que le mica *m*, retenu par sa forme en lamelles.

Outre les lumières que ces faits projetten sur une série de phénomènes naturels, on sent que l'appareil est susceptible d'application à l'analyse minéralogique. On voit qu'il est loin de faire double emploi avec les liqueurs lourdes et il peut compléter très heureusement les résultats procurés par celles-ci.

49. — Appareil à étudier les dépôts littoraux.

La figure 58 représente l'appareil mis d'abord en usage

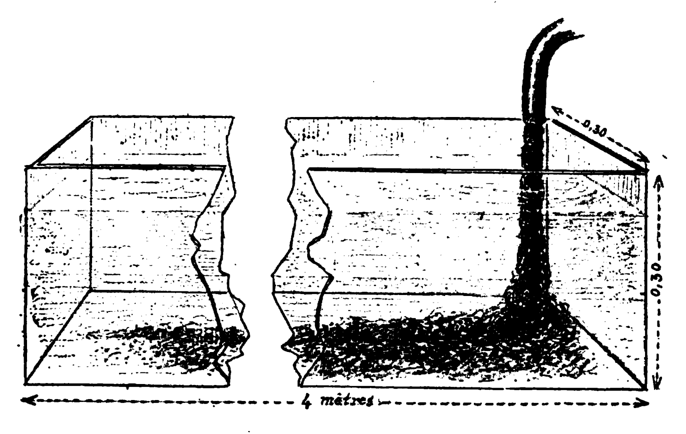


Fig. 58. — Appareil propre à l'étude des dépôts littoraux.

par M. Fayol. C'est une caisse remplie d'eau de 4 mètres de longueur sur 30 centimètres de largeur et dont la pro-

fondeur est de 30 centimètres. On fait tomber lentement à l'une de ses extrémités des boues de composition variée. Il se fait une nappe nuageuse qui chemine doucement et emploie, pour arriver à l'autre extrémité de la caisse, un temps qui varie avec la matière en expérience. On constate que la couche produite est en pente, du point d'arrivée à l'extrémité opposée, et que son inclinaison varie également avec les corps expérimentés. En faisant alterner deux dépôts nettement différents, on a déterminé des apparences de feuillets qu'il ne faut pas confondre avec le feuilleté résultant d'actions mécaniques.

Les expériences réalisables avec ce mode opératoire peuvent être indéfiniment variées et sont très instructives.

50. — Appareil pour la sédimentation des limons fins sur un fond onduleux.

L'expérience montre que certains dépôts ondulés peuvent ne pas résulter, comme on l'imaginerait tout d'abord, de la déformation de couches originairement produites sur un fond horizontal. On doit, à cette occasion, faire usage de l'appareil représenté figure 59 et qui est une imitation et une réduction du dispositif employé naguère sur une très grande échelle par M. de Wegmann.

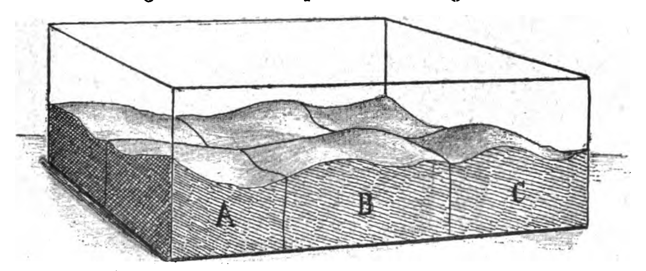


Fig. 59. — Appareil propre à l'imitation des stratifications ondulées.

Il consiste en un réservoir quadrangulaire dont le fond est recouvert d'une sorte de pavage formé d'une série de blocs de plâtre parfaitement jointifs et dont la surface supérieure présente les ondulations très marquées. Le récipient étant rempli d'eau, on y fait arriver une boue

très claire, obtenue par exemple par le délayage de la marne verte qui couronne le gypse. Quand, au bout de plusieurs jours, le liquide est parfaitement éclairci, on remplace une partie de l'eau du réservoir, extraite par siphonnement, par une nouvelle bouillie très étendue obtenue à l'aide d'une argile rouge, dont on laisse le dépôt se faire à son tour. On opère de même successivement avec un lait de craie, puis avec d'autres substances diversement colorées.

Une fois le dernier dépôt réalisé, on vide l'appareil sans secousse de toute l'eau qu'il renferme et on laisse le fond se dessécher. On peut facilement alors extraire les pavés de plâtre dont le fond est composé, et la figure 60 montre, pour l'un d'entre eux, l'apparence qu'ils présentent.

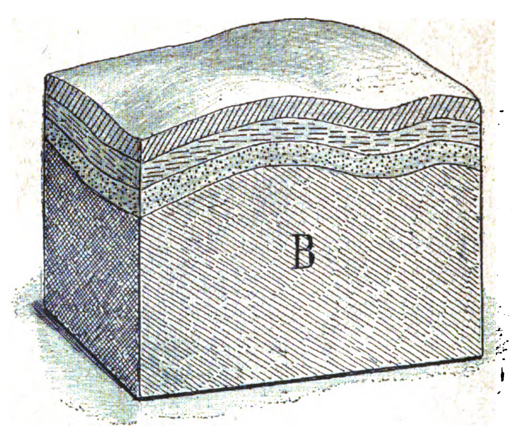


Fig. 60. — L'un des pavés de l'appareil précédent montrant à sa surface, après l'expérience, la superposition de sédimentations ondulées.

Ce pavé, marqué B sur les deux figures 59 et 60, s'est recouvert de petits lits parfaitement parallèles entre eux et à sa surface supérieure. L'allure de ces dépôts boueux où l'on retrouve, les unes sur les autres, les matières employées dans l'expérience, est exactement analogue à

celle de mainte formation naturelle où l'on serait disposé tout d'abord à voir le résultat de refoulements, ou d'autres actions mécaniques.

51. — Dépôts des galets sur un fond incliné. Situation de leur axe dans la position d'équilibre.

Déjà les plus anciens auteurs prétendaient tirer la preuve du déplacement des couches préalablement honrizontales de ce fait qu'on y trouve des galets ellipsoïdaux dont le grand axe est incliné comme elles, persuadés que des pierres d'une semblable forme ne sauraient trouver une situation d'équilibre au moment de leur dépôt à moins que ce grand axe ne soit horizontal. L'expérience montre d'une façon très intéressante que, malgré son apparence logique, cette déduction est beaucoup trop absolue. On peut employer l'appareil représenté figure 61.

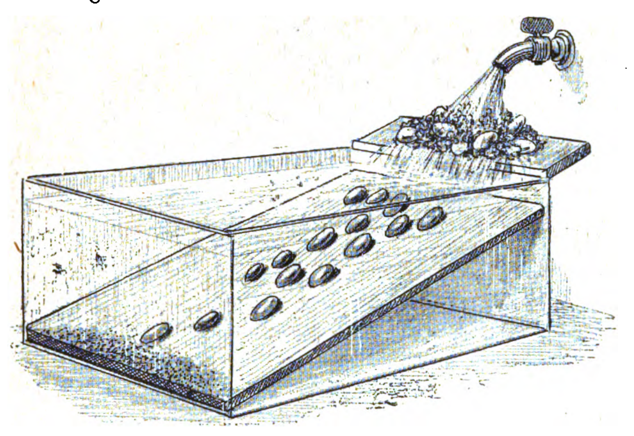


Fig. 61. — Expérience imitant le dépôt des galets sur la pente du fond sous-aqueux.

C'est un réservoir dont le fond est constitué par une planchette convenablement inclinée. Le long du bord supérieur de cette planchette, on dispose un tas de matériaux variés : limon, sable et galets dont on détermine l'écroulement et l'entraînement à l'aide d'un courant

d'eau. On constate que les galets se déposent plus ou moins loin sur la planchette avec leur grand axe plus ou moins incliné suivant la vitesse de l'eau.

On peut répéter l'expérience avec des coquilles ou d'autres corps allongés semblables aux fossiles et aux autres éléments des couches du sol.

C'est spécialement à l'histoire des deltas que les résultats de ces expériences sont d'application directe.

52. — Dépôts des matières organiques. Enfouissement des végétaux dans une situation verticale.

Des expériences ont été instituées en vue d'expliquer la présence fréquemment constatée de végétaux debout au sein des couches du terrain houiller. Elles ont montré que ces végétaux ne sont pas nécessairement, comme on le croyait, des éléments de forêts fossilisées sur place. A l'aide d'un cours d'eau aboutissant dans un réservoir, on a pu réaliser le charriage de fougères dont les racines, relativement pesantes, déterminaient la situation verticale. On a vu ces plantes, peu à peu gorgées d'eau, couler à fond tout en restant debout et s'enfouir peu à peu dans cette situation au sein des vases successivement accumulées autour d'elles. La formation de la houille par charriage a écarté, par ces résultats expérimentaux, des objections très fortes qu'on lui avait opposées.

53. — Appareil pour étudier le rôle des vagues sur la distribution et la structure des sédiments.

Il est facile, avec un appareil du genre de celui de la figure 62, d'imiter les phénomènes de sédimentation qui prennent naissance dans des masses aqueuses agitées par le vent et soulevées sous forme de vagues. On comprend d'un coup d'œil le dispositif que nous avons adopté.

C'est une caisse quadrangulaire pleine d'eau dont le fond est fortement incliné, de façon qu'il émerge sur l'un de ses bords. Sur le bord opposé, une roue à palettes, animée d'un mouvement de rotation variable à volonté, vient battre la surface de l'eau et y détermine des rides parallèles où l'on peut voir une miniature des vagues de l'océan.

Des matériaux hétérogènes, placés sur le bord sans

profondeur de ce bassin, subissent rapidement un triage qui sépare leurs éléments en différentes catégories. Les masses lourdes plus ou moins comparables à des galets restent à peu près sur place et constituent bientôt une sorte de cordon littoral. Les sables sont entraînés à une

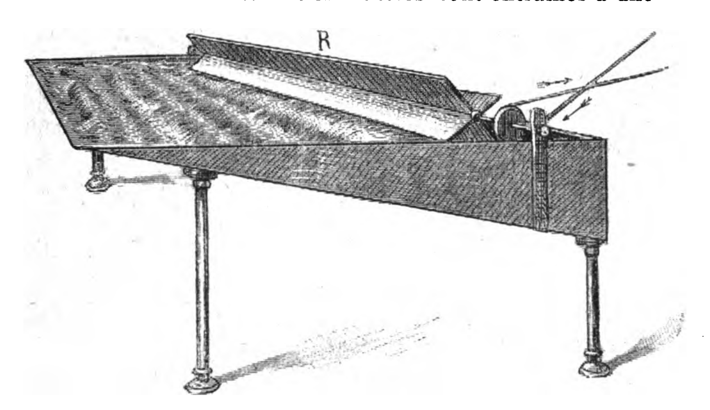


Fig. 62. — Appareil propre à l'étude du rôle érosif et sédimentaire des vagues.

certaine distance sous les flots, et les limons restent en suspension, de façon à salir la masse aqueuse pendant tout le temps de son agitation.

En résumé, on peut, avec cette petite machine, imiter tous les phénomènes sédimentaires relatifs aux régions marginales des mers et des lacs et étudier avec la plus grande précision toutes les conditions des dépôts qui s'y forment.

54. — Appareil pour déterminer le coefficient d'humidité des sédiments et sa variation sous l'influence des tassements.

A peine un sédiment est-il constitué, que les conditions mêmes de sa formation changent complètement autour de lui. Sous l'influence de son propre poids et du poids des dépôts qui se superposent à lui, il éprouve une pression qui va en croissant. Il acquiert une compacité et une densité de plus en plus grandes, et les interstices

entre ses éléments constituants vont en se rapetissant. La quantité d'eau qu'il renferme en mélange varie en même temps, et il est d'autant plus utile de savoir l'apprécier que

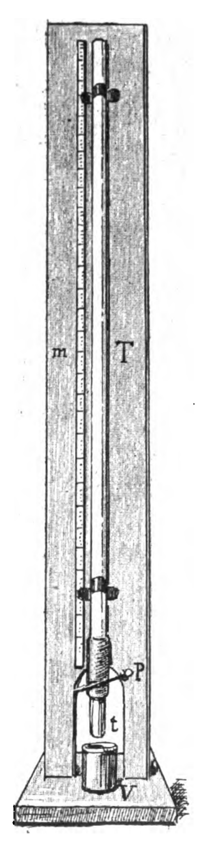


Fig. 63. — Tube destiné à la mesure du coefficient d'humidité des sédiments.

l'eau doit être considérée comme l'un des matériaux nécessaires de tout terrain stratifié. L'appareil de la figure 63 permet d'évaluer cette quantité d'eau pour un sédi-

ment donné et de mesurer ses variations consécutive aux augmentations de pression.

C'est un tube vertical T d'un mètre de longueur environ, dont l'extrémité inférieure fermée *t* est rattachée à la partie principale ouverte par en haut au moyen d'une grosse bague de caoutchouc. On y verse une bouillie obtenue par le délayage dans l'eau d'une substance pul-

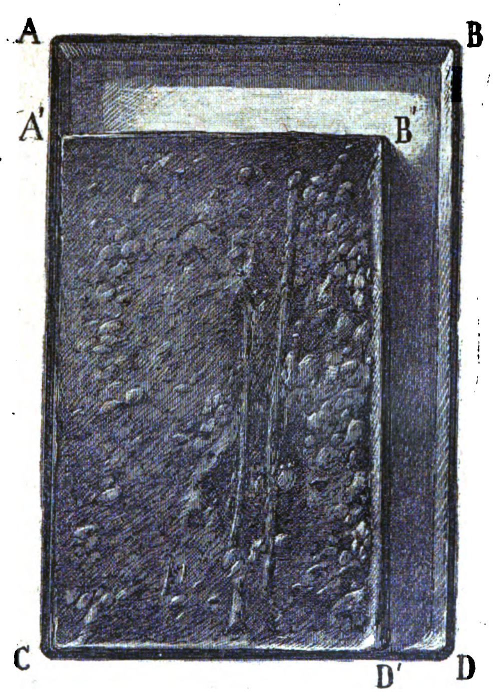


Fig. 64. — Expériences sur le retrait de l'argile.

vérulente qu'on se propose d'étudier, puis on complète le remplissage avec de l'eau. On attend que la matière solide soit entièrement déposée et qu'elle ne se tasse plus, et l'on étrangle alors le caoutchouc avec la pince P, de façon à séparer le tube *t* rempli du sédiment. On le pèse, puis on défalque de ce poids le poids du verre et celui de

l'eau soustraite par dessiccation. En divisant le poids d'eau par le poids de la poussière sèche, on a un coefficient d'humidité qui se prête à toutes les comparaisons. En allongeant par en haut le tube T à l'aide d'autres tubes semblables à lui, on arrive à tripler, quadrupler la pression et on constate les variations consécutives du coefficient d'humidité.

55.— Retrait de l'argile par sa dessiccation progressive. La dessiccation des sédiments peut déterminer dans bien des cas une diminution telle de leur volume qu'il est loisible d'y rattacher, comme à leur cause, de grands dé-



Fig. 65. — Rupture d'une lame de verre par la rétraction de l'argile qui se dessèche.

placements et de grandes déformations de massifs rocheux tout entiers. Des expériences très simples peuvent faire apprécier d'un coup d'œil la valeur considérable du phénomène dont il s'agit. La figure 64 montre l'intense retrait d'une plaque d'argile corroyée dans le récipient ABCD et qui s'est rétracté à la dimension A'B'CD'.

En répétant cette manipulation dans une cuvette à bord de carton et dont le fond est constitué par une mince lame de verre, on détermine, comme le montre la figure 65, la torsion violente et la rupture de celui-ci.

56. — Étude expérimentale des deltas.

On peut, à l'aide de très petits appareils, reproduire les intéressants résultats signalés dans ces derniers temps par l'étude des deltas.

On opère dans le récipient de la figure 66.

C'est un bassin d'un mètre de longueur et de 30 centimètres de largeur dont le fond se relève à une extrémité où aboutit un canal d'adduction d'eau. Une fois qu'on l'a rempli et pendant qu'il déborde, on jette dans le courant d'alimentation un mélange formé de petit gravier, de sable fin, d'argile très ténue et de débris de tourbe gorgée d'eau. On alimente de ce mélange le filet d'eau jusqu'à ce que le bassin soit rempli, en constatant chemin faisant qu'à l'embouchure du canal, il ne tarde pas à se faire un promontoire caillouteux qui prend, les unes après les autres, les formes variées rappelant celles des deltas.

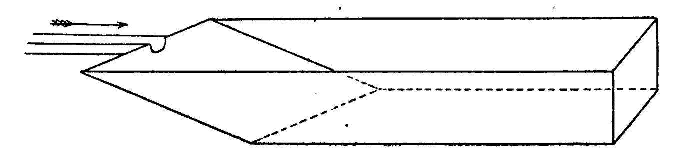


Fig. 66. — Appareil propre à l'imitation des deltas.

Après le remplissage, on laisse le produit se dessécher, on ouvre la face antérieure du récipient, et l'on constate dans le dépôt la structure représentée par la figure 67.

Le point essentiel est de constater que les matériaux

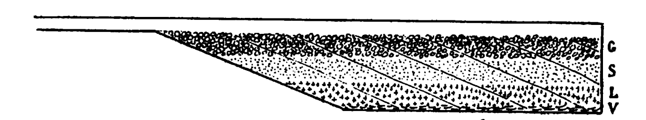


Fig. 67. — Résultat de l'expérience réalisée avec l'appareil précédent.

jetés pêle-mêle dans le cours d'eau se sont triés avec une extraordinaire exactitude. Les débris tourbeux font un lit V au fond du récipient. Par dessus, l'argile s'est étalée en une couche L parfaitement régulière. Le sable l'a recouverte en S, et les graviers sont restés à la

partie supérieure pour constituer la strate G. Cette structure est précisément celle qu'on a reconnue dans les deltas fossiles et avant tout sur les parois de la célèbre tranchée de Saint-Edmond, à Commentry.

§ 11. — *Sédimentation souterraine.*

57. — Collection de sable et d'argile au fond des puits naturels de production artificielle.

Si l'on répète l'expérience décrite au paragraphe 26 comme procurant l'imitation des puits naturels, mais en ayant soin de choisir une variété de calcaire pourvue

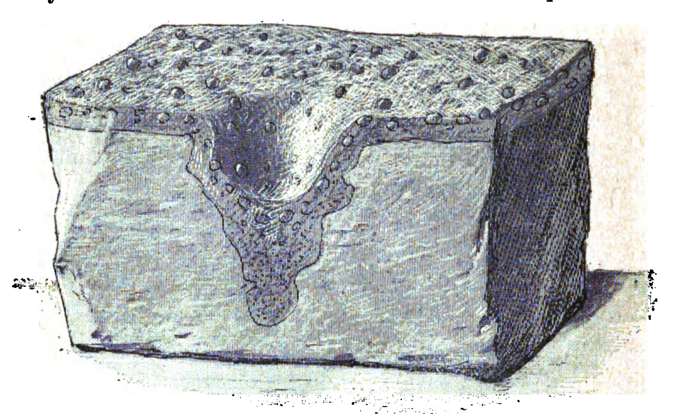


Fig. 68. — Production d'un revêtement sableux ou argileux au fond des puits érodés artificiellement au sein des roches partiellement insolubles. (L'échantillon a été scié suivant l'axe du puits.)

d'une proportion convenable de parties insolubles, argileuses ou arenacées, on constate, comme le montre la figure 68, que les perforations produites sont tapissées, d'une manière plus ou moins uniforme, d'un revêtement d'argile ou de sable.

La disposition de ces sables associés aux argiles et aux autres substances insolubles que pouvait contenir la roche mise en expérience est rigoureusement celle qu'on observe dans les puits naturels.

Si la roche soumise à la corrosion est recouverte d'une couche de graviers, ceux-ci pénètrent dans la cavité avec

l'allure du diluvium superposé au calcaire grossier d'Ivry-sur-Seine et de localités analogues.

On a répété cette expérience à l'aide de blocs de craie *brune*, c'est-à-dire de craie toute piquetée de fines granulations de phosphate de chaux, comme on en rencontre à Beauval (Somme), à Hardivillers (Oise), ou à Ciply (environ de Mons, en Belgique), et on a obtenu alors comme des miniatures des célèbres gisements de phosphorite pulvérulente de ces localités célèbres. Après ce résultat expérimental, il ne semble pas que l'on puisse hésiter davantage sur l'histoire si curieuse de cette catégorie de gisements.

58. — Imitation expérimentale des rognons de grès. On parvient à imiter tous les détails de forme et de structure des rognons de grès par un dispositif très simple. On fait arriver dans du sable fin une très faible quantité d'une solution saline, dont l'évaporation aban-

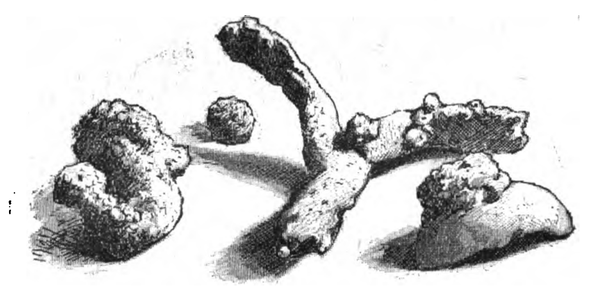


Fig. 69. — Rognons de grès artificiel obtenus par la solution de sulfate de zinc arrivant goutte à goutte dans du sable quartzeux préalablement chauffé.

donne entre les grains une matière conjonctive qu'on peut varier d'une expérience à l'autre.

Dans la nature, la cimentation se fait très lentement à l'aide de solutions très étendues, calcaires, siliceuses ou autres, qui se renouvellent très longtemps. Pour rendre le résultat plus visible, il convient d'employer des solutions plus chargées et d'en provoquer l'évaporation plus rapide. Beaucoup de sels en solution aqueuse conviennent parfaitement et on se trouve bien d'opérer sur du sable chaud.

Pratiquement, il est commode de placer le sable dans

un plat de fer battu que l'on chauffe au degré voulu sur un fourneau à gaz et d'y laisser tomber la solution saline goutte à goutte à l'aide d'une pipette.

Comme le montre la figure 69, on détermine ainsi la production de concrétions ayant avec les grès les plus intimes analogies. Les échantillons exposés ont été obtenus avec une solution aqueuse de sulfate de zinc; ils reproduisent toutes les formes de nodules recueillis par exemple dans les sablières du faubourg de Saint-Pierre, auprès d'Étampes.

59. — Imitation morphologique des tufs.

Moulages des dégagements gazeux dans une masse en voie de solidification.

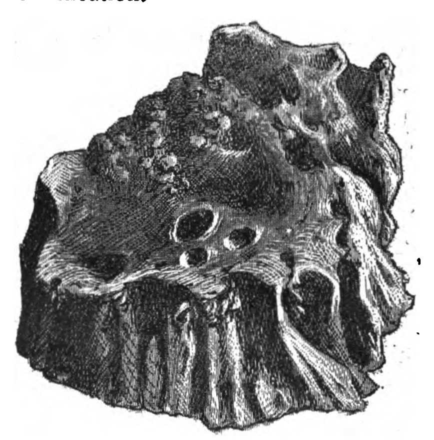


Fig. 70. — Imitation de la structure tubuleuse et vacuolaire des tufs par l'ébullition du plâtre gâché dans l'eau.

Plusieurs méthodes permettent d'imiter la structure spongieuse et tubuleuse des tufs de toutes les compositions. On peut par exemple étaler une couche d'argile liquide sur un dépôt de carbonate de soude et faire arriver au contact de celui-ci, à l'aide d'un tube traversant le plâtre, une petite quantité d'un acide faible. L'acide carbonique se fraye un chemin au travers de la substance pâteuse et si la consistance de celle-ci est con-

venable, il y reste des vides représentant le trajet de dégagement gazeux et le séjour de bulles élastiques.

Quand on désire conserver des spécimens, il y a avantage à procéder par une autre méthode, et c'est à elle qu'on doit par exemple le spécimen représenté dans la figure 70.

C'est en faisant bouillir jusqu'à dessiccation une certaine quantité de plâtre gâché qu'on a obtenu les échantillons exposés et qui sont remarquables par leur ressemblance avec beaucoup de meulières ou de travertins calcaires.

On y retrouve par exemple des traits de structure bien connus dans les meulières de Carnetin ou dans le calcaire oligocène d'Étampes, et l'on est autorisé à penser que lors de la production de ces roches une boue dont la composition a d'ailleurs pu être modifiée par la suite, s'est consolidée en présence de dégagements gazeux.

60. — Calcaire déposé à 100° dans un appareil à saturation d'air.

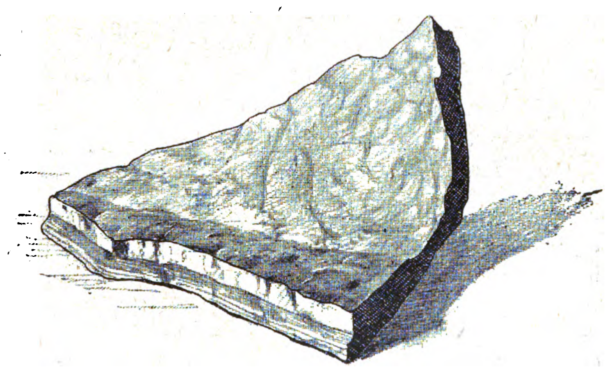


Fig. 71. — État compacte et presque marmoréen d'une incrustation produite à 100 degrés dans un appareil à saturation d'air.

Il est très intéressant de constater expérimentalement que la température, en présence de laquelle se fait un dépôt chimique, peut avoir l'influence la plus décisive sur sa structure et, dans certains cas, la rapprocher singu-

lièrement de celle de beaucoup de roches naturelles. C'est ce qui a lieu spécialement pour le carbonate de chaux de la figure 71. C'est une croûte déposée dans un appareil industriel, mis en œuvre dans certaines usines et l'on constate que la substance, au lieu d'avoir le grain terreux ordinaire de ces sortes de produits, a plutôt l'aspect d'un marbre zonaire. Les applications de ces résultats sont très multiples à l'histoire des roches.

61. — Incrustation calcaire dans les tuyaux de conduite.

C'est une véritable expérience synthétique que l'on réalise quand on force une eau minérale naturelle à s'écouler dans un tuyau de conduite et à y déposer, en faveur des conditions artificielles qu'on a réalisées ainsi, une partie de ses éléments pierreux.

En étudiant les produits ainsi involontairement obte-

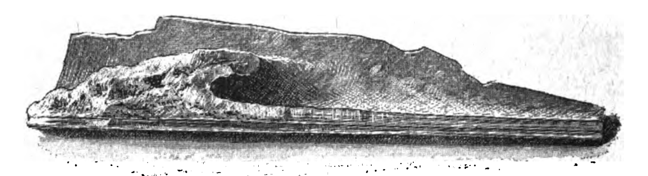


Fig. 72. — Calcaire concrétionné déposé dans un tuyau de conduite par la circulation d'eau convenablement minéralisée.

nus, on est frappé souvent de leur analogie avec les dépôts stalagmitiques et même avec certains minéraux filoniens. Dans la figure 72, nous avons choisi pour le représenter un spécimen venant de Saint-Légier-sur-Vevey (Suisse) et présentant cet intérêt que le calcaire concrétionné est justement celui dont la soustraction, par la circulation souterraine, a amené le polissage et la striation des galets calcaires compris dans les placages boueux des Alpes, conformément aux résultats que nous avons résumés plus haut, dans notre paragraphe 25.

Les dépôts de ce genre se déposent dans les conduites en pellicules concentriques qui diffèrent les unes des autres, en conséquence des variations d'ailleurs très

faibles de la composition du liquide générateur et de la rapidité de la précipitation. Il en résulte sur les sections transversales et longitudinales une structure rubanée qui ressemble très intimement à celle des filons et jette par conséquent sur elle des enseignements très positifs.

61 *bis*. — Incrustation produite dans une chaudière à vapeur de la carrière des Maréchaux près de Cernay-la-Ville (Seine-et-Oise).

Parmi les innombrables exemples d'incrustation de tous genres que l'on pourrait citer, on se bornera à mentionner un cas spécialement intéressant à divers titres. Il a été procuré par une chaudière à vapeur dont l'intérieur s'était encrassé d'une couche pierreuse et cris-

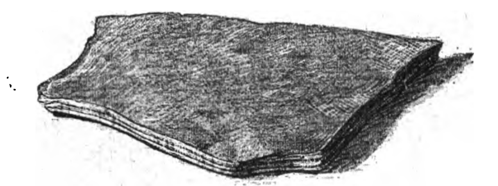


Fig. 73. — Incrustation d'anhydrite cristallisée produite dans une chaudière à vapeur.

talline consistant en anhydrite dont l'étude a jeté du jour sur l'histoire des roches sulfatées.

En effet, l'eau d'alimentation, filtrée au travers des sables de Fontainebleau et qui paraissait absolument pure, contient des traces de sulfate de chaux. Celui-ci soumis dans la chaudière à une température très notablement supérieure au degré d'ébullition de l'eau ne s'est pas déposé à l'état hydraté, c'est-à-dire sous la forme de gypse. Il s'est au contraire dépouillé de toute son eau et a pris la forme de l'anhydrite. A l'œil nu, ce produit se signale par son apparence soyeuse qui tient à sa structure cristalline; au microscope, dans la lumière naturelle et surtout entre les nichols, il révèle toutes les propriétés du sulfate anhydre de calcium.

C'est un fait à considérer quand on recherche l'origine des minéraux anhydres renfermés dans des formations où

l'intervention originelle de l'eau est cependant évidente.

62. — Production artificielle de stalactites.

L'azotate de strontium en solution aqueuse se prête merveilleusement à la production de stalactites toutes pareilles par leur forme à celles des Cavernes. Elles sont parfois coniques et très souvent tuberculeuses; même fréquemment récourbées à angles plus ou moins ouverts. Toutes circonstances reproduites dans la nature.

63. — Calcaire pisolithique artificiel.

On a fait un grand nombre de suppositions pour expliquer les structures qualifiées d'oolithique et de pisolithique. L'expérience mise en usage par divers chercheurs a montré que plusieurs de ces suppositions sont exactes et sont intervenues simultanément dans des conditions distinctes. C'est dans le nombre qu'il faut citer le produit figuré ci-joint (fig. 74).

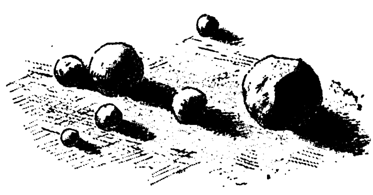


Fig. 74. — Pisolithes calcaires obtenues par le mélange tourbillonnant d'une eau calcarifère et d'un lait de chaux.

Ce spécimen extrêmement curieux a été donné au Muséum par M. E. Derennes, professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures. Il a été obtenu en faisant tourbillonner, dans un appareil d'épuration, une eau calcarifère avec du lait de chaux. Les coupes minces montrent la reproduction exacte de la structure à la fois concentrique et rayonnée des pisolithes naturelles (fig. 75).

La coupe, de quelques centièmes de millimètre d'épaisseur se craquelle facilement, mais ses portions plus ou moins écartées permettent de reconstituer toute l'histoire de la concrétion qui, d'abord très petite, a grossi évidemment par l'addition de nouvelles robes sur la masse déjà produite.

Les expériences qui ont amené la constitution de ces curieux produits avaient un but exclusivement industriel; elles ont inspiré des essais tentés d'une façon systématique et qui ont été réalisés avec un appareil rotatif qui

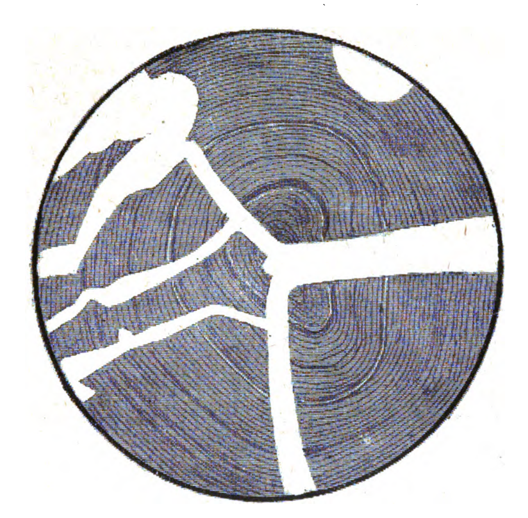


Fig. 75. — L'une des pisolithes précédentes réduite en lame mince et observée au microscope.

sera décrit plus loin. On a pu alors préciser toutes les conditions relatives au problème.

64. — Cimentation des grès ferrugineux.

Nous avons vu plus haut que l'imitation des nodules de grès par cimentation de sable, a pu être réalisée d'une manière très complète. Il convient d'ajouter maintenant que la constitution des grès à ciment de limonite admet des détails complémentaires. Les expériences volontaires ou accidentelles, dont ce sujet a été l'objet, ont fait voir que la limonite, qui n'est pas soluble, est amenée entre les grains qu'elle réunit, à l'état de sel de fer qui se décompose à cause de la présence de certaines substances et spécialement du calcaire.

Un premier fait très remarquable dans cette direction

a concerné la production fortuite d'un grès ferrugineux, formé dans un tas de sable déposé en plein air près d'un gros spécimen de pyrite du Portugal exposée devant le



Fig. 76. — Production artificielle de grès à ciment de limonite, par l'introduction fortuite dans un tas de sable calcaire de l'eau de lavage à la pluie d'un bloc de pyrite de fer.

péristyle de la Galerie de Géologie. C'est une vraie expérience involontaire qui a donné naissance à ce très curieux produit. La figure 76 fait voir comment les choses avaient été disposées, et si les vitrines du Muséum ne montrent pas l'expérience en cours, elles renferment des fragments du produit dont on peut étudier tous les caractères.

L'énorme bloc de pyrite, pourvu à l'origine d'un beau miroir de frottement, a cédé à l'eau de la pluie une solution très étendue de sulfate de fer. Celle-ci s'est écoulée sur le socle calcaire qui supportait l'échantillon et y a déposé une matière ocreuse en même temps qu'elle y creusait des corrosions plus ou moins profondes. Au moment du siège de Paris, en 1870, on déposa devant le socle un tas de sable de Seine, destiné à lutter contre les incendies possibles avec les projectiles pétrolifères.

On sait que le sable de Seine est extrêmement calcaire: aussi la solution du sulfate de fer y provoqua-t-elle, comme sur le piédestal, une précipitation de limonite; celle-ci, se déposant entre les éléments de la matière arénacée, la transforma en un grès très solide qui renferme de tous côtés des cristaux très brillants de gypse, témoignant bien éloquemment de la réaction qui vient d'être décrite.

65. — Reproduction de l'alios des Landes.

Parmi les applications très nombreuses qui peuvent être faites de la réaction mentionnée au paragraphe précédent, il convient de faire une place spéciale à l'expérience qui permet la reproduction artificielle de l'*alios* des Landes. C'est, comme on sait, un grès à ciment ferrugineux qui forme une couche à quelque distance sous la surface du sol sableux et jouant un grand rôle dans l'économie du pays, qu'il rend imperméable et malsain.

L'appareil consiste (fig. 77) en une *éprouvette à dessécher*, et nous serons amenés tout à l'heure à en faire usage pour reproduire toute une série de produits géologiques. On en obstrue la portion étroite A avec un tampon perméable d'amiante et on y introduit une colonne S S de sable quartzeux mélangé d'une quantité convenable de carbonate de chaux précipité. On peut recouvrir la colonne d'une couche de 1 à 2 centimètres de graviers destinés à maintenir bien en place la matière sous-jacente. Les choses ainsi préparées, le tout est arrosé de sulfate de fer en dissolution étendue : l'oxyde de fer se précipite au contact du carbonate de chaux et donne un

lit GA de grès reproduisant le trait essentiel de la héologie de notre région des Landes.

En mélangeant du sulfate de manganèse au sulfate de fer et en faisant varier la préparation des deux sels, on obtient des grès ferrugineux bariolés.

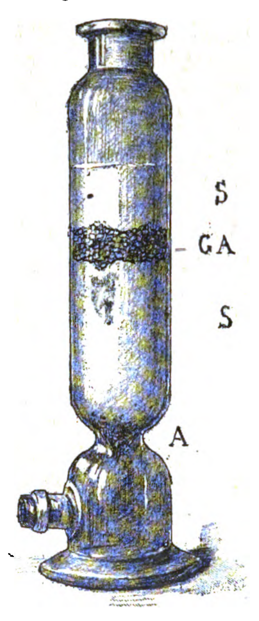


Fig. 77. — Imitation artificielle de l'alios des Landes.

66. — Imitation des gîtes d'opale farineuse.

Il existe dans le département du Cher, et spécialement près de Vierzon, et dans d'autres localités, des amas stratiformes de silice hydratée pulvérulente, superposés à des couches de craie. On s'assure que ces amas sont des résultats de la précipitation dans des masses calcaires de silice apportée par des dissolvants appropriés; masses qui sont ensuite dissoutes en partie par la dissolution d'eau suffisamment énergique.

C'est ce que l'expérience permet d'imiter à l'aide de l'appareil représenté figure 78.

C'est l'éprouvette à dessécher déjà employée et dans laquelle on a placé, entre les deux lits de gravier G, G, une colonne C de craie pulvérisée, gâchée dans le silicate de soude et qui est arrosée avec de l'acide chlorhydrique très étendu.

Le silicate de soude est décomposé en même temps que la craie est enlevée, et il reste une gelée siliceuse en

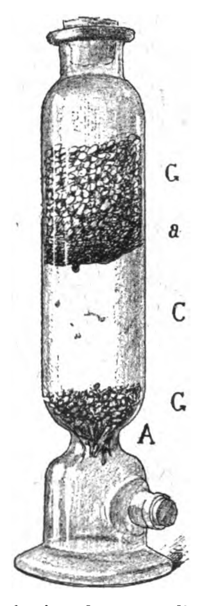


Fig. 78. — Imitation des gîtes d'opale farineuse.

couche continue qui reproduit la composition des gîtes d'opale stratifiés. Après dessiccation, le produit ressemble de la façon la plus intime à la roche naturelle qu'il s'agissait de reproduire.

67. — Calcaire grossier silicifère, pulvérisé (de la Côte aux Buis à Grignon), arrosé avec de l'acide chlorhydrique très étendu.

En choisissant des roches naturellement pourvues

d'une quantité suffisante de gelée siliceuse, on peut répéter sur elles l'expérience précédente en isolant une opale, qui rappelle beaucoup plus encore les productions de la nature.

La figure 79 montre comment l'éprouvette est d'abord chargée : au-dessus du bouchon d'amiante A, un petit lit

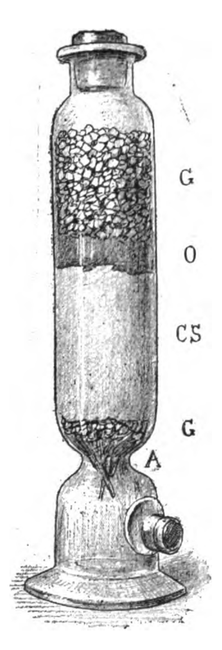


Fig. 79. — Imitation des couches d'opale par l'attaque du calcaire naturellement silicifère.

de gravier G et une colonne de calcaire siliceux pulvérisée CS, puis encore du gravier G, qu'on arrose avec de l'eau aiguisée d'acide chlorhydrique. O représente l'opale mise peu à peu en liberté.

68. — Imitation des argiles de Saint-Ouen.

C'est une variante de l'expérience précédente, intéres-

sante à cause de ses applications possibles à l'histoire de l'un des niveaux les plus remarquables de toute la géologie parisienne.

L'éprouvette déjà employée est remplie d'une colonne de calcaire de Saint-Ouen pulvérisé et qu'on arrose avec de l'acide chlorhydrique très étendu.

Il se sépare, par la dissolution partielle, une matière argileuse fortement imprégnée de gelée siliceuse et qui possède la composition des marnes à ménilites. On peut se demander si celles-ci ne résultent pas d'une disposition naturelle analogue à celle de l'expérience.

69. — Imitation des gîtes de phosphates sédimentaires des cavernes.

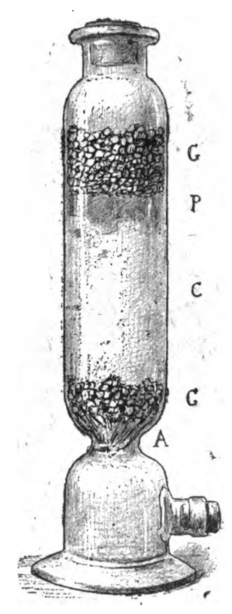


Fig. 80. — Reproduction expérimentale des gîtes de phosphate de chaux concrétionné.

Cette fois, l'éprouvette (fig. 80) est chargée de car-

bonate de chaux précipité C qu'on arrose avec le phosphate d'ammoniaque.

Il se fait un phosphate concrétionné P et qui paraît avoir des analogies de compositions avec des matières rencontrées dans certaines grottes du département de l'Hérault et d'autres pays. En même temps, on recueille à la partie inférieure de l'appareil une dissolution contenant beaucoup de carbonate d'ammoniaque. On sait qu'on admet qu'il peut se produire naturellement le phosphate d'ammoniaque par une action microbienne sur des gîtes fossilifères ; des os spécialement et d'autres débris animaux se décomposent alors de façon à engendrer le sel ammoniacal.

70. — Imitation des gîtes de limonite.

L'action précipitante du carbonate de chaux sur les

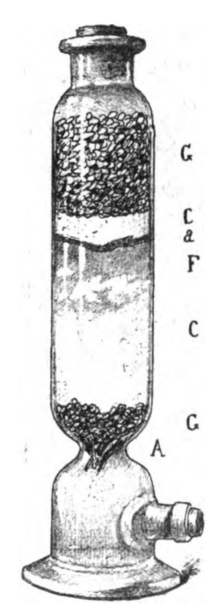


Fig. 81. — Imitation expérimentale des gisements stratifiés de limonite.

dissolutions ferrugineuses a été étudiée expérimentalement avec beaucoup de détails.

On peut d'abord (fig. 81) charger l'éprouvette à pied d'une colonne de carbonate de chaux précipité et l'arroser avec du sulfate de fer en dissolution aqueuse. On voit très rapidement les régions supérieures de la



Fig. 82. — Variante de l'expérience de la figure 81. Production d'une zone de limonite au sein d'une masse sableuse inerte.

colonne C se colorer d'une nuance ocracée qui va constamment en augmentant. Le liquide qui s'écoule en bas de l'appareil contient du sulfate de chaux.

Un très grand nombre de gîtes ferrugineux paraissent dériver de réactions analogues à celles qui nous occupent ici. Des roches calcaires, mouillées de suintement ferrugineux, se sont transformées à la longue en gisement de limonite.

Parmi les très nombreuses variantes qu'on peut faire subir à l'expérience, on mentionnera celle qui est repré-

sentée dans la figure 82. On voit que la colonne a été composée de sable quartzeux S comprenant vers le milieu de sa hauteur une couche de carbonate de chaux précipité. Le sulfate de fer très étendu a traversé le sable supérieur sans altération, mais il a précipité la limonite dans toute la zone marquée F.

Il résulte de l'exemple cité que la concrétion de fer hydroxydé ne se fait pas avec une égalité parfaite en tous les points, et c'est ainsi que se sont constituées des espèces de poches qui rappellent de très nombreux accidents naturels. Si on a eu le soin de mélanger le carbonate de chaux d'une certaine quantité de sable, la limonite cimente ensemble les grains de celui-ci et en fait un grès ferrugineux. L'alios des Landes est un exemple de formations dont l'histoire est éclairée par les résultats précédents. (V. n° 65.)

71. — Production de limonite oolithique.

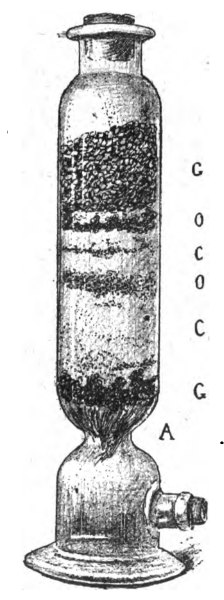


Fig. 83. — Imitation artificielle des oolithes ferrugineuses.

L'histoire des oolithes ferrugineuses se rattache aux phénomènes de précipitation de la limonite par le calcaire. On les imite par l'expérience représentée figure 83.

Dans l'éprouvette à sédimentation souterraine, on place, au-dessus du bouchon d'amiante A et du lit de gravier G, une colonne de calcaire obtenue par la désagrégation d'un calcaire très oolithique, comme le calcaire

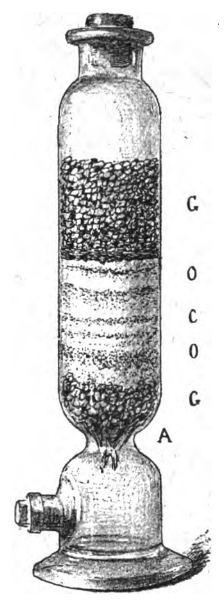


Fig. 84. — Variante de l'expérience précédente donnant une alternance de lits d'oolithes limonitiques et de limon fin calcaire à peine ferrugineux.

corallien oolithique de Lérouville (Meuse). Après l'avoir désagrégé et tamisé, on l'arrose avec du sulfate de fer en dissolution aqueuse très étendue.

La substitution du fer au calcaire se fait sans modification de la structure de la matière précipitante. De sorte que les oolithes de calcaire se transforment en oolithes de limonite. Ce paraît être, en effet, l'origine

des oolithes ferrugineuses. On voit en outre que le calcaire exerce son pouvoir précipitant avec une activité qui dépend, dans chaque point, de la facilité de la circulation souterraine. Des alternances de lits oolithiques et de lits très fins montrent, à cet égard, des faits intéressants. C'est dans les portions marquées O, où les oolithes s'étaient accumulées en plus grand nombre, que le fer s'est déposé plus abondamment; dans les zones marquées C, la substance plus fine et de nature marneuse est restée à peu près blanche, et ces détails reproduisent bien des faits observés dans les couches du sol.

On a aussi fait usage de calcaire oolithique de Tonnerre (Yonne) désagrégé, tamisé et arrosé avec le sulfate de fer, et les résultats qui viennent d'être rappelés se sont reproduits encore, mais d'une façon plus nette que tout à l'heure, à cause d'un détail dans le mode opératoire, qui imite des circonstances réalisées lors de la sédimentation marine.

Pour composer la colonne calcaire de l'expérience, on a délayé la poussière de calcaire dans l'eau, et par petite portion, on l'a versée dans l'éprouvette. A chaque dose, il s'est fait un triage : les oolithes sont tombées au fond et ont été recouvertes de la portion pulvérulente, de façon qu'à la fin la colonne était composée de lits alternatifs oolithiques et compactes, c'est-à-dire les uns très perméables et les autres beaucoup plus étanches. Le sulfate de fer s'est déplacé plus vite dans les premiers que dans les derniers et y a été plus énergiquement décomposé. Il a pu traverser lentement des couches compactes relativement supérieures sans donner beaucoup de limonite et accumuler plus bas ce ciment aux dépens de la substance des oolithes.

Ces essais ont été répétés un grand nombre de fois; on a exposé dans la Collection plusieurs des résultats obtenus et qui sont d'application très importante à l'interprétation des couches du sol.

72. — Imitation des gîtes de malachite.

Un très grand nombre de métaux se comportent

comme le fer, c'est-à-dire que la solution aqueuse de leurs sels est précipitée par le calcaire.

La figure 85 représente l'effet produit quand du carbonate de chaux précipité est arrosé avec le sulfate de cuivre pur, en solution aqueuse très étendue.

Il se fait ainsi des sous-carbonates de cuivre et des

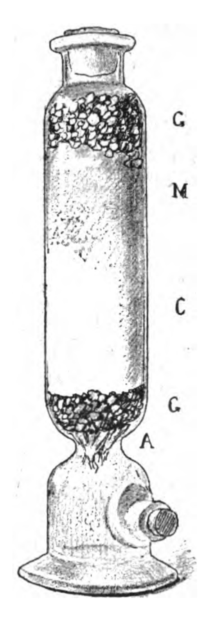


Fig. 85. — Imitation expérimentale des gîtes de malachite.

sels doubles de cuivre et de chaux qui, sous l'influence d'une longue circulation d'eau tiède, comme il en existe dans la profondeur, se transforment en malachite proprement dite.

En répétant la même manipulation avec du chlorure de manganèse (ou du sulfate du même métal), on imite les nids d'acerdèse, ou hydroxyde de manganèse si fréquents dans les terrains stratifiés de tous les âges et même dans le diluvium.

73. — Reproduction de la zinconise (hydrocarbonate de zinc) des gîtes calaminaires.

L'expérience du paragraphe 72, recommencée en substituant au sel de cuivre une dissolution de sulfate de zinc, a donné lieu à la production de la zinconise.

C'est ce que montre la figure 86, où une colonne de carbonate de chaux, maintenue entre les deux lits de gravier G, est soumise au lent suintement d'une solution étendue de sulfate de zinc : on voit alors sa portion supérieure, qui la première change d'aspect, et prend une texture concrétionnée. Peu à peu cet état gagne progressivement des régions plus inférieures, comme on le voit en Z. En même temps, le liquide de filtration se charge d'une quantité progressivement croissante de sulfate de chaux.

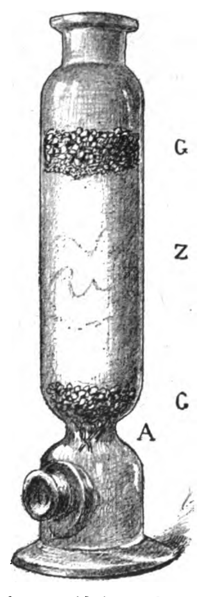


Fig. 86. — Imitation artificielle des gîtes de zinconise.

74. — Imitation des chapeaux de filons ou gîtes de couverture.

On sait que les affleurements des filons sulfurés se signalent d'habitude par la riche coloration d'une série d'oxydes métalliques.

L'expérience montre que ces effets sont dus souvent à

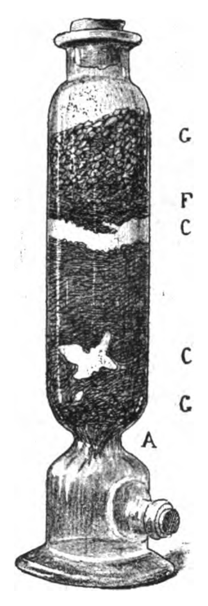


Fig. 87. — Imitation expérimentale des gîtes de couverture ou chapeaux des filons.

la propriété précipitante du calcaire, vis-à-vis des solutions métalliques, celles-ci étant engendrées dans la nature par l'oxydation des sulfures sous l'influence des infiltrations oxydantes des eaux météoriques.

Dans l'éprouvette, on met une colonne C de carbonate de chaux précipité et on la recouvre d'une couche de gravier G. On l'arrose alors successivement avec le sulfate de manganèse, le sulfate de fer et le sulfate de cuivre et d'autres sels encore. A chaque changement de réactif, on voit un nouvel oxyde se précipiter et il se fait ainsi dans le tube un bariolage aussi compliqué

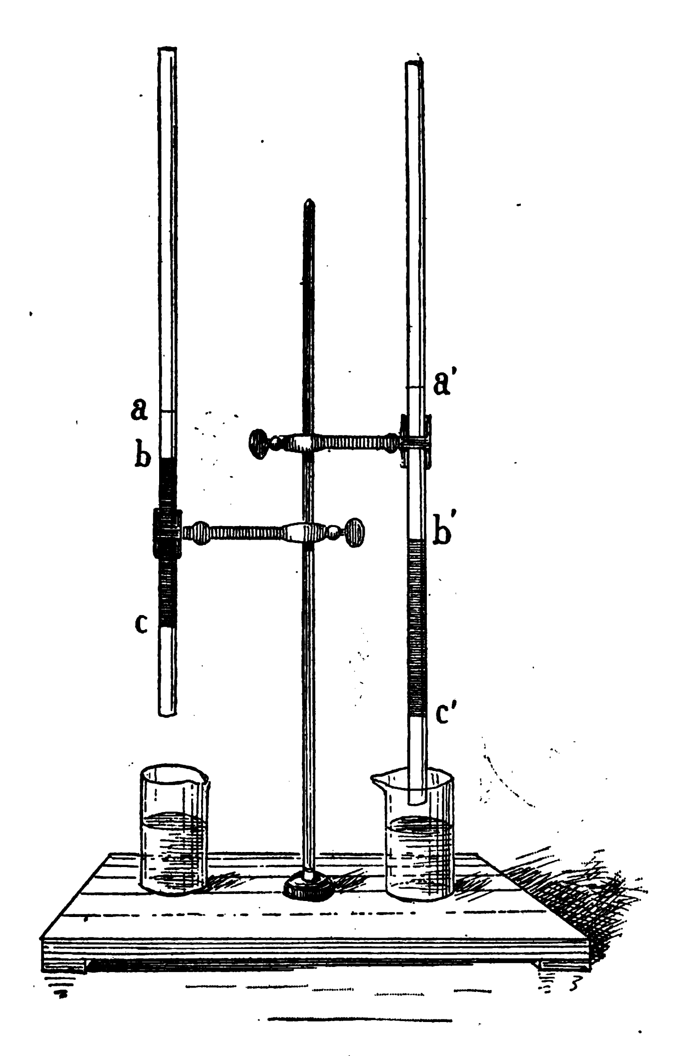


Fig. 88. — Étude expérimentale des propriétés précipitantes du carbonate de chaux vis-à-vis des solutions de sels métalliques.

qu'on le désire et qui affecte tous les caractères des *pacos* du Mexique, pris comme exemples.

Diverses particularités intéressantes se produisent chemin faisant et par exemple, comme le montre la figure des réserves de calcite qui restent à l'abri de toute décomposition. On en aperçoit en C tantôt avec l'allure d'une couche plus ou moins continue, tantôt avec une apparence de tache, éclatante par sa blancheur, sur le fond coloré qui l'entoure.

75. — Etude expérimentale des propriétés précipitantes du carbonate de chaux, à l'égard des sels métalliques.

Dans un tube vertical ouvert aux deux bouts (fig. 88), mais contenant un bouchon d'amiante, on met une couche *c b* de quelques centimètres de craie pulvérisée, puis on verse par-dessus une dissolution de sulfate de cuivre. Le liquide qui filtre bientôt, reçu dans un vase où l'on a mis quelques gouttes de ferrocyanure de potassium, ne donne aucune réaction colorée, d'où il résulte qu'il ne contient plus trace de cuivre : tout le métal a été immobilisé par le calcaire.

L'expérience répétée avec un grand nombre de métaux donne des résultats comparables, et il faut citer parmi eux ceux qui concernent les sels de fer, à cause des applications variées qu'on en peut faire à des questions géologiques et agronomiques.

Il est très remarquable d'ailleurs que tandis que les premières portions du liquide filtrant ne contiennent pas trace de fer, les suintements suivants sont pourvus de ce métal bien avant que tout le calcaire soit dissous.

Dans le tube de droite de la figure 88, on a versé, sur de la craie en poudre, un mélange de sulfate de fer et de sulfate de magnésie. Dans le vase inférieur, on ne recueille qu'un mélange de sulfate de magnésie et de sulfate de chaux, sans trace de fer.

§ 12. — *Sédimentation éolienne.*

76. — Imitation expérimentale des cônes volcaniques, par projections de matériaux retombant autour du point de sortie d'un courant d'air vertical.

Comme on peut en juger par la figure 89, l'appareil mis en œuvre est très simple. Il consiste en une table au travers de laquelle on fait arriver un jet d'air vertical fourni par une soufflerie et qui se charge à l'aide d'un réservoir convenablement disposé, d'une quantité voulue

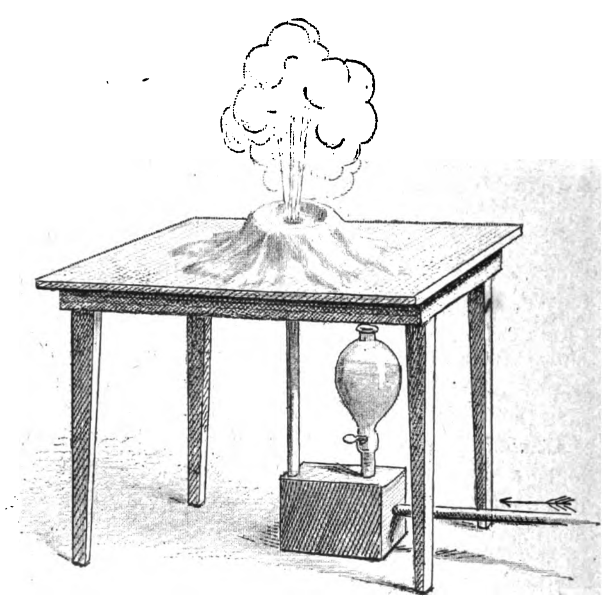


Fig. 89. — Appareil propre à l'imitation artificielle des cônes volcaniques, par la projection verticale de poussières retombant en bourrelet autour de l'orifice de sortie d'un courant d'air.

de sable qu'il entraîne. On voit sous la table le réservoir à sable qu'on peut alimenter d'une façon continue à l'aide d'un entonnoir de verre; le jet d'air lance verticalement un nuage de poussière et la substance qui retombe sur la table ne tarde pas à constituer un bourrelet autour de l'orifice.

Après l'expérience, des écorchures pratiquées avec précaution dans le bourrelet sableux permettent d'y constater la *structure en chevrons*, c'est-à-dire la superposi-

tion de petits lits plongeant d'une part vers l'ouverture centrale, parallèlement au cône renversé et creux de l'intérieur, et d'autre part vers la périphérie du cône tronqué parallèlement à sa pente extérieure. C'est là une ressemblance intime avec les cratères formés de lapillis, dont la constitution est souvent si visible dans des carrières, comme on en voit par exemple auprès de Clermont-Ferrand, à Gravenoire, et dans beaucoup d'autres localités.

77. — Étude expérimentale des dunes.

Appareil pour imiter la forme et le déplacement de ces bourrelets arénacés.

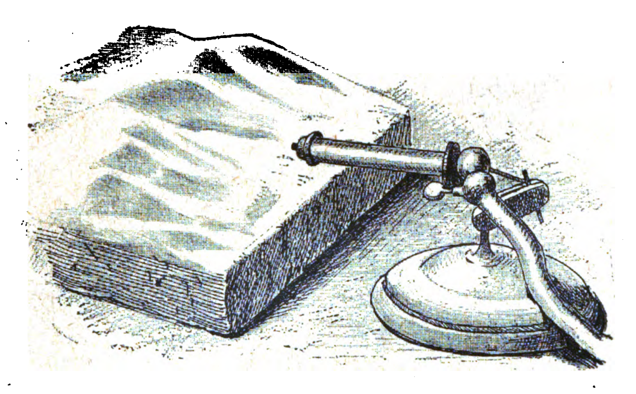


Fig. 90. — Appareil propre à l'imitation des dunes de sable et à la reproduction artificielle de leur déplacement progressif.

On reproduit tous les détails morphologiques des dunes de sable de la manière la plus simple, à l'aide du dispositif représenté dans la figure 90.

Sur une dalle de pierre un peu inclinée, on dispose une couche de sable fin représentant la matière arénacée que l'Océan abandonne sur son rivage à la marée basse. Puis on dirige sur cette nappe incohérente le jet d'une soufflerie ordinaire de laboratoire.

On voit immédiatement se creuser des sillons et se développer des collines, et en déplaçant transversale-

ment le courant gazeux, on réalise tous les détails des accidents naturels.

Quelquefois nous avons muni la soufflerie d'un ajutate à fénte horizontale plus ou moins longue et il en est résulté des variantes intéressantes.

On peut faire parcourir à ces bourrelets un chemin considérable et on constate que, chemin faisant, ils modifient leur structure intime, de façon à la rapprocher de plus en plus de l'anatomie réelle des dunes.

78. — Étude de l'influence des obstacles sur la distribution des sédiments éoliens. Entonnoir produit autour d'un cylindre vertical. Reproduction du mode d'enfouissement de l'église de Zuydcoot (Nord).

Parmi les particularités les plus singulières des dunes,

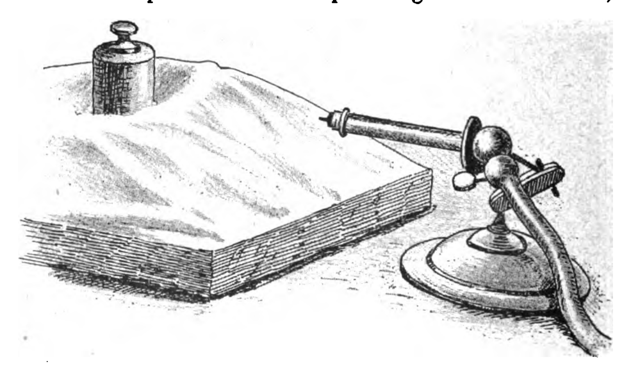


Fig. 91. — Imitation artificielle de l'ensablement des monuments par le sable des dunes.

il en est qui concernent l'ensevelissement progressif des objets les plus divers par les sables mouvants, arbres ou monuments.

Par exemple aux environs de Dunkerque, l'église de Zuydcoot est bien connue, pour ne plus montrer que la partie supérieure de son clocher émergeant au fond d'un vaste entonnoir de sable.

On voit, par la figure 91, qu'il est facile de se rendre compte expérimentalement de la cause d'effets si singuliers et de les rapporter aux réflexions que les filets d'air

transporteurs de sable éprouvent à la rencontre des obstacles.

On a placé un cylindre sur le sable; un poids en cuivre comme on en emploie dans les balances de Roberval, usitées dans tous les laboratoires, convient parfaitement. Le jet d'air est lancé par la soufflerie comme dans l'expérience précédente, de façon à faire avancer un bourrelet de sable vers le cylindre. Le sable s'élève de toutes parts, mais sans se mettre à la surface en contact avec ce dernier; un entonnoir se constitue et il présente tous les caractères de celui qui entoure le clocher du département du Nord. Il est facile, en faisant varier les conditions principales de l'expérience, de déterminer tous les détails du phénomène.

79. — Appareil pour la reproduction artificielle des bilobites et des traces analogues.

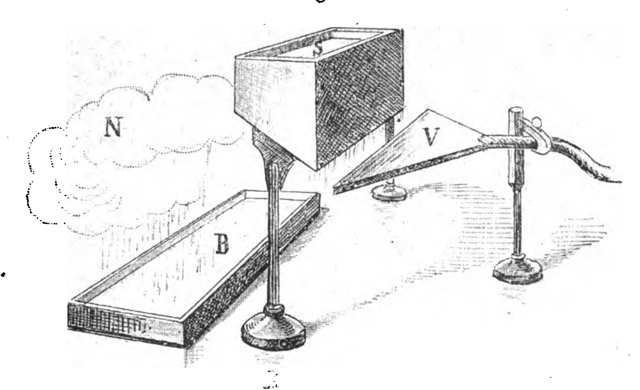


Fig. 92. — Appareil propre à la reproduction artificielle des bilobites et des traces analogues.

Cet appareil (fig. 92) permet la projection horizontale d'un nuage de sable au-dessus d'un bassin aqueux au fond duquel est une couche argileuse sur laquelle des empreintes ont été préalablement produites.

Pour bien en comprendre le fonctionnement, il faut se rappeler qu'on entend par *bilobites* des reliefs allongés rencontrés souvent *sous* des bancs de grès reposant sur

des lits argileux et qu'on regarde comme représentant la fossilisation de simples pistes laissées par le passage d'animaux sur un sol boueux.

Les diverses hypothèses proposées pour rendre compte de ces accidents se sont heurtées à la difficulté insurmontable de douer l'eau d'une vitesse favorable au transport des grains de sable qui moulent les bilobites après s'être cimentées en grès, tout en l'empêchant d'effacer par son passage, comme font les flots de la mer remontante, les délicats délinéaments qu'il s'agit au contraire de conserver.

En étudiant la question, on trouve que le seul véhicule



Fig. 93. — Résultat produit par l'expérience précédente.

capable de réaliser l'œuvre ainsi définie est le vent et non pas l'eau, et que les bilobites constituent un résultat de la fonction éolienne. L'expérience vient donner à cette manière de voir un appui tout à fait décisif.

L'appareil comprend un bassin B au fond duquel on a placé une couche d'argile très plastique sur laquelle on a produit une empreinte qu'il s'agit de conserver. On recouvre cette argile d'une couche d'eau dans laquelle on a fait dissoudre un corps agglutinatif quelconque, par exemple de la gomme arabique.

D'un autre côté, on dispose en S un réservoir rempli de sable fin qui s'écoule d'une façon continue par une fissure ménagée tout le long de son fonds.

Le rideau vertical de sable ainsi produit est repris par un courant d'air horizontal lancé par la soufflerie V à ajutage aplati. Il en résulte un nuage N de sable aussi dense qu'on le veut et qui alimente une pluie de sable tombant dans le réservoir B.

Quand celui-ci est rempli de sable, on l'abandonne à la disseccation, et celle-ci obtenue, on extrait facilement une plaque d'un véritable grès à ciment de gomme arabique, mais qui serait identique au point de vue du but

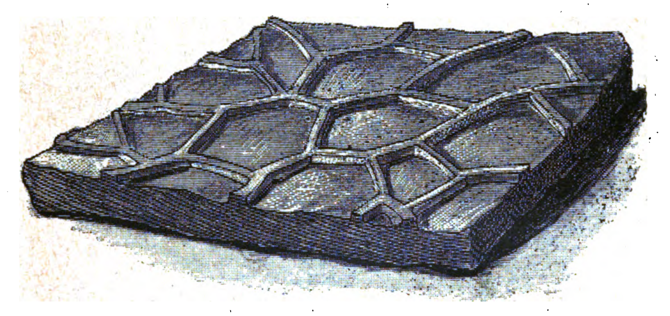


Fig. 94. — Reproduction artificielle du *Soleil fossile*.

à atteindre si sa matière conjonctive était de la calcite, de la silice, ou toute autre substance minérale.

On voit sous sa face inférieure (fig. 93) des bourrelets en saillie, correspondant aux dépressions qu'on avait faites dans l'argile et qui imitent autant qu'on le veut les bilobites des grès armoricains.

On peut d'ailleurs varier à l'infini cette intéressante et féconde expérience.

La figure 94 montre comment s'imite l'accident remarquable, si fréquent par exemple dans des grès triasique, et permiens, et qu'on désigne sous le nom pittoresque de *Soleil fossile*. Pour l'obtenir, on commence par faire craqueler l'argile au soleil et on la recouvre, au moyen de la soufflerie, de sable sec, qu'on arrose ensuite d'eau

gommée pour lui donner, par sa dessiccation, la cohésion que possèdent les grès.

Comme le montre la figure 95, on peut tout aussi bien faire du *Vent fossile* tout pareil à celui qu'on recueille dans les grès d'Anor ou du Kronthal, et qui est connu à tant de niveaux géologiques sous le nom anglais devenu cosmopolite de *Ripple marks*. A cet effet, on agite doucement l'eau dans laquelle on a laissé se déposer de l'argile fine, de façon à donner à sa surface une forme ondulée qui reproduit celle des flots eux-mêmes. La cimentation du grès sur un semblable fonds donne,

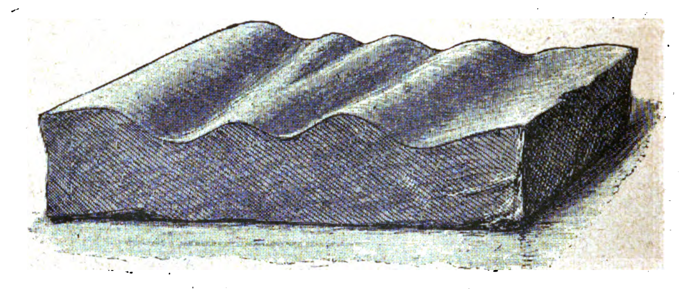


Fig. 95. — Imiitaton artificielle du *Vent fossile*.

comme le montre la figure 95, un moulage qui reproduit, dans tous les détails, les *Ripple marks* géologiques.

Dans la figure 96, on voit, de même, l'imitation de la

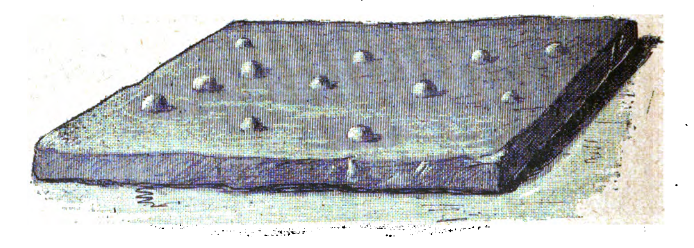


Fig. 96. — Imitation artificielle de la *Pluie fossile*.

Pluie fossile. C'est le nom sous lequel on désigne des échantillons de grès à la surface inférieure desquels on

voit de petites pustules saillantes circulaires ou elliptiques et qui sont certainement le moulage de gouttes de pluie tombées soit verticalement, soit obliquement sous l'influence du vent.

Cette fois la plaque d'argile est préparée comme nous l'avons fait au n° 11 de ce travail, en y faisant tomber des gouttes d'eau au moyen d'une pipette garnie d'une poire de caoutchouc. Une fois les dépressions ainsi produites, il suffit de préparer à leur surface le grès gommé déjà décrit pour obtenir la contre-partie de leur forme et du même coup la reproduction exacte des accidents naturels.

Enfin, rien n'est plus aisé que de fabriquer par le même



Fig. 97. — Imitation artificielle, par une empreinte humaine des foulées animales du genre des pistes de *Cheirotherium*.

procédé des empreintes représentant les foulées géologiques dont le type serait fourni par les célèbres pistes de *Cheirotherium* ou « animal à main » dont on voit des spécimens au Muséum.

La figure 97 montre que nous avons trouvé pittoresque de substituer à la piste d'un animal quelconque l'impression d'une main humaine fortement appliquée sur l'argile humide. Le moulage par le grès gommé donne un résultat très frappant et qui contribuera, comme les faits précédents, à faire accepter par tout le monde le

mécanisme éolien, comme explicatif des pistes de tous genres, dont les couches du sol sont souvent si richement pourvues.

DEUXIÈME PARTIE

APPLICATION DE LA MÉTHODE EXPÉRIMENTALE A L'ÉTUDE DE L'ORIGINE DES ROCHES ET DES MINÉRAUX

L'origine des roches et des minéraux constitue un ensemble tellement considérable qu'il a fallu ici le réduire à ce qu'il a de tout à fait essentiel. On nous permettra de renvoyer le lecteur qui désirerait plus de détails à l'ouvrage que nous avons publié en 1891 sous ce titre : *Les méthodes de synthèse en minéralogie* (1).

Les spécimens exposés dans la collection de Géologie expérimentale du Muséum sont destinés à montrer simplement les têtes de séries dans ce grand sujet.

Ils sont répartis en deux grandes catégories : celle des minéraux accidentels, c'est-à-dire produits dans des circonstances artificielles mais non réunies de propos délibéré dans un but de synthèse minéralogique; et celle des reproductions rationnelles, obtenues par des méthodes nettement définies.

CHAPITRE I. — SYNTHÈSES ACCIDENTELLES

§ 1er. — *Minéraux accidentels des usines.*

80. — Série de laitiers cristallisés provenant des usines du Creusot (Saône-et-Loire).

a) Laitiers de fabrication d'acier Bessemer par le procédé dit acide, c'est-à-dire par le traitement des fontes non phosphoreuses dans une garniture siliceuse. (Certains de ces laitiers, remarquables par leur belle cristallisation, sont très manganésifères.)

b) Scories provenant du réchauffage de lingots d'acier sur une sole siliceuse. Il s'est constitué ainsi des pyroxènes ferrugineux et de la fayalite admirablement cristallisés.

c) Laitiers de fabrication basique, c'est-à-dire de traitement des fontes phosphoreuses dans une garniture en pisé dolomitique.

(1) Un vol. in-8° de XII-359 pages. Paris, Baudry et Cie, éditeurs.

d) Scorie de déphosphoration remplie de cristaux d'apatite.

81. — Laitiers cristallisés provenant de l'usine d'Aulnoye (Nord).

a) Laitiers cristallisés (pyroxène).

b) Beaux cristaux de pyroxène.

La figure 98 montre la netteté et la régularité de cristaux ainsi obtenus.



Fig. 98. — Laitier cristallisé d'Aulnoye montrant de gros cristaux de pyroxène.

82. — Laitiers des usines de Novéant (ancien département de la Moselle). Cristallisations variées.

83. — Laitiers de l'usine de Hayange (Moselle). Laitiers cristallisés.

84. — Laitiers de l'usine de Styring (Moselle). Laitiers cristallisés. Humboldtilite cristallisée.

85. — Laitier d'une usine de Tarascon. Laitier granulé.

86. — Laitier provenant d'une usine à fer des environs de Barcelone (Espagne).

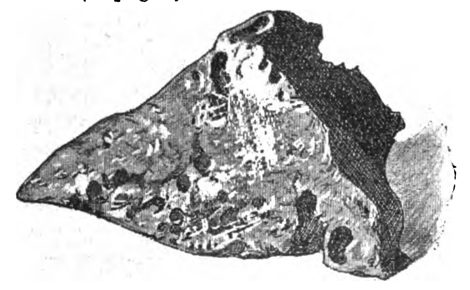


Fig. 99. — Laitier cristallisé provenant de Barcelone.

L'analyse de ce laitier m'y a montré une association largement cristalline de wollastonite et de mellilite, et la figure 99 montre l'aspect des plus intéressants de cette belle matière qui, d'abord, avait été prise, par des personnes qui l'avaient trouvée dans les champs, pour une pierre tombée du ciel ou météorite.

87. — Laitier d'une usine à cuivre de Kaafiord en Norvège. L'examen des lames minces y fait reconnaître des cristaux de cuprite.

88. — Fer oxydulé (magnétite) formé aux dépens de la fonte de fer de Framont (Vosges).

Cette magnétite est en octaèdres facilement séparables par dissolution du métal par l'acide chlorhydrique.

89. — Fer cristallisé en octaèdres d'une usine à fer du Cumberland. Ces cristaux du volume de un centimètre cube environ sont nettement formés par de petits octaèdres régulièrement groupés entre eux (fig. 100).



Fig. 100.—Cristaux octaédriques de fer artificiel (grand. naturelle).

90. — Anorthite accidentelle de l'usine à gaz de Vaugirard à Paris. Cette production minérale a pris naissance au sein de massifs pierreux provenant de la fusion, maintenue plusieurs années, de matériaux dits *réfractaires*. L'anorthite, en prismes de plusieurs millimètres de longueur, est mélangée de grains pyroxéniques, et l'ensemble, avec sa matière conjonctive vitreuse, ressemble à beaucoup de laves volcaniques. (Stanislas Meunier. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. C, p. 1350, 25 mai 1885.)

91. — Oligiste terreux bleu accidentel de l'usine à gaz de Vaugirard à Paris.

Des tirants en fer, placés sous les cornues à gaz, se sont en quelques années transformés en cette substance pulvérulente, et l'on peut croire que la vapeur d'eau a été l'artisan de cette synthèse, bien que d'ordinaire son action sur le fer détermine la production de la magnétite. (Stanislas Meunier. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CL, p. 889, 2 nov. 1885.)

92. — Granite provenant d'un four à chaux, où l'action prolongée de la chaleur l'a modifié d'une manière très notable.

93. — Trachyte vitrifié dans un four à chaux de Pontgibaud (Puy-de-Dôme).

94. — Chaux cristallisée du four à chaux de Champigny (Seine).

Le parement du four continu, installé à Champigny, par Le Roy des Closages, a subi, à la suite du chauffage à l'oxyde de carbone, à une température de 1200 à 1300° C. ininterrompue pendant plus de deux années, des modifications moléculaires qui ont amené la chaux anhydre à cristalliser sous la forme de cubes limpides et géométriquement réguliers. (Albert Levallois et Stanislas Meunier. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XC, p. 1566, 28 juin 1880.)

95. — Verre cristallisé de la verrerie de Clichy.

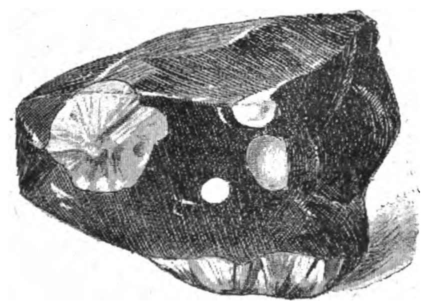


Fig. 101. — Culot de verre dévitrifié montrant de gros nodules radiés de pyroxène (moitié de la grandeur naturelle).

La figure 101 représente un magnifique culot provenant de la cristallerie de Clichy (Seine) et dans la substance duquel se sont développés d'énormes globules blancs, opaques et radiés où l'analyse microscopique retrouve des agrégats de pyroxène.

96. — Culot de verre dévitrifié.

97. — Fragments de bouteille dévitrifiée.

98. — Verre dévitrifié. Blanzy (Saône-et-Loire).

§ 2. — *Minéraux des houillères embrasées.*

99. — Produits des houillères d'Aubin (Cantal).

100. — Produits des houillères de Commentry (Allier).

Les produits les plus intéressants dérivent de la transformation de roches argileuses, qui montrent au microscope, dans une matière vitreuse générale, des cristaux parfaitement reconnaissables de pyroxène et d'anorthite. (Stanislas Meunier, *Les méthodes de synthèse en minéralogie*, p. 73, 1891.)

§ 3. — *Minéraux produits dans les incendies.*

100. — Bouteille transformée par l'incendie de la Guadeloupe en 1842 (fig. 102).

Parmi les innombrables exemples qu'on pourrait citer de dévitrification spontanée du verre, l'un des plus frappants concerne les objets soumis à la chaleur intense et prolongée des grands incendies.

A ce titre, le spécimen que nous représentons a un droit spécial à l'attention. C'est une bouteille ordinaire dont, à la suite du grand incendie de 1842 à la Guadeloupe, la substance constituante a complètement changé de nature. C'est maintenant une matière présentant avec certaines porcelaines, ou mieux avec certains grès cérames, une ressemblance d'aspect tout à fait frappante. Elle est tout à fait opaque, d'un gris jaunâtre assez foncé et d'un

grain grossier qui fait paraître sur la cassure des clivages cristallins appartenant au pyroxène (wollastonite).



Fig. 102. — Bouteille à vin, recuite par le grand incendie de la Guadeloupe en 1842.

101. — Minéraux venant de l'incendie de l'Hôtel de Ville de Paris en 1871.

L'incendie allumé par la Commune dans l'Hôtel de Ville, a déterminé la production d'une foule de synthèses minéralogiques. Parmi les échantillons exposés et qui ont un intérêt historique, on peut citer, outre des dévitrifications analogues aux précédentes, des cristallisations d'oxyde magnétique de fer, de carbonate de cuivre, etc.

102. — Minéraux venant de l'incendie du Palais de Saint-Cloud en 1870.

C'est pendant le siège de Paris par les Prussiens que l'incendie du Palais de Saint-Cloud a donné lieu à des productions minérales variées. On y voit des spécimens

remarquables par la dimension de leurs cristallisations.

103. — Produit de fusion des cendres de graminées lors de l'incendie des meules de foin.

Après l'incendie des meules de foin, on recueille parmi les débris, des nodules vitreux qui proviennent de la fusion des cendres et dans lesquelles le microscope reconnaît plusieurs minéraux et spécialement du pyroxène. Fréquemment, quand le feu est mis par un coup de foudre, les ignorants sont portés à voir, dans ces matières, des échantillons du tonnerre lui-même ou des spécimens de pierres tombées du ciel (météorites). C'est un préjugé qui disparaît aussitôt qu'on sait en quoi consistent les roches cosmiques et à quoi elles ressemblent.

§ 4. — *Minéraux accidentels des catastrophes volcaniques.*

104. — Minéraux produits sur des objets romains de Pompéi.

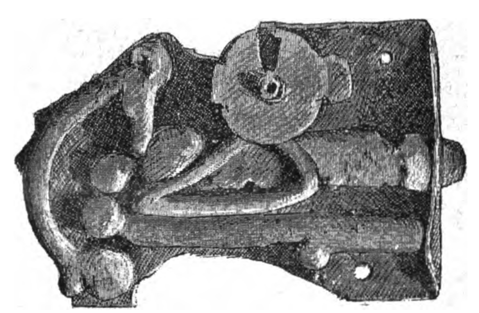


Fig. 103. — Serrure romaine en bronze provenant des ruines de Pompéi et montrant des minerais cuprifères, engendrés par la réaction des cendres chaudes sur le métal. — 1/2 G. N.

Les conflagrations volcaniques ont souvent déterminé, aux dépens d'objets artificiels, des synthèses minéralogiques qui doivent être mentionnées ici. Les produits ainsi réalisés sont innombrables ; il suffira de choisir deux exemples empruntés l'un à l'une des éruptions les plus anciennes dont l'histoire ait gardé le souvenir, et l'autre à un phénomène récent dont les ruines sont

encore visibles et qui a causé une émotion qui n'est pas à beaucoup près calmée. Il s'agit d'une part de l'éruption du Vésuve en l'an 79 de notre ère et, de l'autre, de celle de la Montagne Pelée, à la Martinique, en 1902.

Dans la première série nous avons choisi une serrure en bronze retirée des cendres qui ont enseveli Pompéi et dont le métal s'est altéré de façons diverses suivant les points, engendrant plusieurs espèces minérales bien caractérisées et parmi lesquelles on reconnaît plusieurs sulfures (chalkosine, tétraédrite, etc.) et de la malachite. La collection exposée renferme d'ailleurs beaucoup d'autres vestiges pompéiens. La place nous manque ici pour les décrire.

105. — Minéraux produits sur des objets modernes à Saint-Pierre (Martinique).

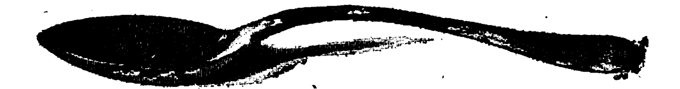


Fig. 104 — Cuiller en métal blanc argenté, retirée des ruines de Saint-Pierre à la Martinique, et montrant à sa surface des espèces minéralogiques engendrées par le contact de la cendre chaude.

Dans la deuxième série nous avons fait représenter (fig. 104) une cuiller en ruolz partiellement désargentée, et sur la surface de laquelle les productions minéralogiques sont nombreuses et variées. Cet objet m'a été donné pour la collection, par M. Lacroix, en même temps que beaucoup d'autres échantillons extrêmement variés et des plus instructifs. On y voit les résultats de transformation de divers métaux et spécialement du fer, les produits de fusion ou du ramollissement du verre, des résidus d'attaque de matières organiques et jusqu'à la chair des victimes humaines.

§ 5. — *Minéraux des forts vitrifiés.*

106. — Minéraux des forts vitrifiés du Puy de Gaudy (Guéret), Creuse. Granit vitrifié.

On sait qu'on désigne sous le nom de *forts vitrifiés*

des ruines de murailles antiques, dont l'âge n'est pas toujours déterminé, et qu'on a construites en soudant ensemble pàr fusion des blocs de granit accumulés les uns sur les autres. On faisait alterner les assises de pierres avec des lits de bois ou de charbon et on faisait durer le feu pendant un temps très long, des semaines sans doute et peut-être des mois. Pendant le refroidissement il s'est engendré des minéraux variés et parfois très intéressants. Les échantillons venant du Puy de Gaudy présentent, dans ce genre, de la tridymite, des feldspaths tricliniques, de la wollastonite et bien d'autres espèces.

107. — Minéraux des forts vitrifiés du camp de Péran (Saint-Brieuc), Côtes-du-Nord. Granit vitrifié.

Le grand fort vitrifié connu, aux environs de Saint-Brieuc, sous le nom de camp de Péran fournit des faits analogues à ceux qui viennent du Puy de Gaudy. On remarquera des blocs dans lesquels des fragments de charbon de bois se sont moulés dans le granit fondu qui a conservé leurs empreintes parfaites. C'est un témoignage de l'intensité de la température qui est intervenue dans la construction de ces remparts véritablement homériques.

Les vitrines contiennent des produits analogues provenant des localités très diverses, soit françaises comme Sainte-Suzanne (Sarthe), soit étrangères, comme Craig Phaderic (Ecosse), et beaucoup d'autres.

108. — Minéraux du château de Basolus (Cantal). Gneiss et basalte fondus.

Nous avons intérêt à signaler à part des faits observés dans certains forts vitrifiés où les matériaux ne consistent pas seulement en roches granitiques, mais comprennent aussi des blocs de basaltes ou d'autres roches volcaniques. C'est, par exemple, ce qui se produit au lieu dit le château de Basolus, dans le département du Cantal. Le basalte, relativement très fusible, a donné lieu à des accidents intéressants. La figure 106 montre un

bloc à la surface duquel une grosse larme de roche pyroxénique s'est solidifiée avec une forme très symétrique.



Fig. 106. — Fragment de roche provenant du château de Basolus (Cantal) et présentant une larme de basalte fondu. — 2/3 G.N.

§ 6. — *Minéraux des captages romains de sources thermales.*

109. — Bétons romains de Plombières.

a) Echantillon du béton que les Romains avaient étendu sur le fond de la vallée de l'Augronne pour isoler es griffons thermaux des infiltrations de la rivière.

b) Briques renfermant des cristaux de Christianite et d'autres zéolithes (Apophyllite, Gismondite, Scolésite).

c) Halloysite déposée par les eaux de Plombières; brique renfermant de l'opale mamelonnée et hyaline (fig. 107).

d) Béton romain renfermant de la Calcédoine, de l'Aragonite.

C'est d'une manière bien inconsciente que les Romains, il y a près de deux mille ans, ont institué de véritables expériences de minéralogie synthétique. Parmi les dispositifs qu'ils ont adoptés, celui qui est réalisé à Plombières est spécialement intéressant. Les tremblements de terre ayant fendillé à diverses reprises la nappe de béton qui avait été étalée sur le fond de la vallée de l'Augronne pour isoler les eaux chaudes des infiltrations superficielles, les sources se sont fait jour dans la substance artificielle.

Des réactions chimiques très faibles se sont déclarées,

et leur longue durée a amené la genèse d'une foule de minéraux bien définis. Les faits dont il s'agit avaient été d'abord observés par Jutier ; ils ont été décrits en détail par Daubrée qui a déposé au Muséum une collection très nombreuses d'échantillons prélevés lors de l'aménagement de l'Établissement thermal actuel. Outre les blocs exposés et ceux qui sont conservés en tiroirs à

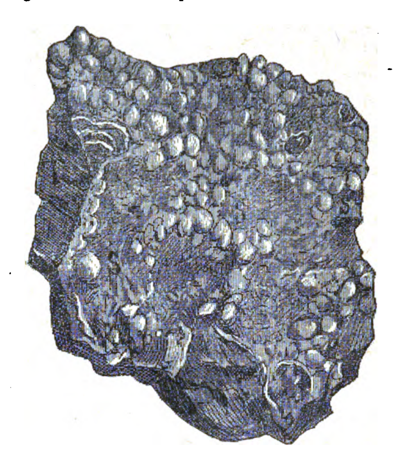


Fig. 107. — Fragment de béton romain de Plombières (Vosges) montrant à sa surface des tubercules S d'opale engendrés par la réaction de l'eau minérale sur la substance des briques. T. — 1/4 G. N.

la disposition des spécialistes, le Muséum possède de très nombreuses plaques minces propres à l'examen microscopique.

110. — Bétons romains des environs d'Oran. Briques romaines dont les cavités renferment des zéolithes.

Les faits qui viennent d'être rappelés ont été observés dans d'autres stations thermales, où les Romains avaient fait des travaux de captage. Comme exemple, on a exposé des fragments de béton recueillis en Algérie par le paléontologiste Deshayes qui fut professeur de Malacologie au Muséum.

111. — Minéraux du puisard romain de Bourbonne. Conglomérat renfermant des monnaies romaines à la surface desquelles il s'est produit de la Chalkopyrite et de la Philippsite.

C'est sous une tout autre forme que les Romains ont inconsciemment installé des expériences de synthèse dans le bassin de certaines sources chaudes, dont le type nous sera fourni par la localité de Bourbonne, dans la Haute-Marne. Ici ce sont des objets métalliques qui ont été soumis pendant dix-huit siècles à l'action de l'eau thermale et spécialement des monnaies de bronze, qu'on a eu l'occasion de rencontrer inopinément lors d'un curage relativement récent. Les produits ont été étudiés par Daubrée.

Sans entrer ici dans la description détaillée des échantillons exposés, notons seulement qu'ils représentent une sorte de reprise de possession par la nature des substances que le métallurgiste antique avait mises en œuvre pour fabriquer les médailles. La figure 108 montre



Fig. 108. — Fragment du conglomérat gréseux du puisard romain de Bourbonne, dont les éléments sont soudés entre eux par des minéraux de formation actuelle. — (1/3 grandeur naturelle.)

l'aspect d'un conglomérat très abondant du fond du puisard romain de Bourbonne et qui consiste en fragments de grès bigarrés mélangés à des médailles entières ou coupées par moitié et soudés ensemble par une matière

métallique, dont l'analogie est frappante à la première vue avec les minerais contenus dans les filons cuprifères. Les espèces les plus aisément déterminables sont la Chalkosine, la Chalkopyrite, la Tétraédrite, la Philippsite, etc. En certains points, des tuyaux de plomb ont donné de l'Anglésite.

112. — Minéraux de la mer de Flines (près de Douai, Nord). Conglomérat renfermant des médailles romaines dont l'altération a donné de la chalkosine (Cupréine).

Il existe à Flines un étang dont l'eau ne se signale aucunement par sa composition chimique et où cependant il s'est fait des minéraux analogues, par l'origine comme par la composition à ceux que nous venons de mentionner dans les thermes de Bourbonne. On les a observés à la surface de statuettes et de médailles romaines qui ont été draguées dans cette « mer », suivant l'expression locale, et leur examen conduit à croire que la genèse de certains minéraux de filons métalliques. peut, au moins en certains cas, se réaliser à la température ordinaire.

CHAPITRE II. — MÉTHODES DE SYNTHÈSES MINÉRALOGIQUES ET LITHOLOGIQUES

§ 1. — *Méthode de la voie sèche.*

113. — Vitrification des roches par la fusion. Fusion du feldspath. Fusion de l'obsidienne. Fusion des roches péridotiques.

Les minéralogistes qui se sont proposé de réaliser la reproduction artificielle des minéraux ont été très souvent portés à opérer par fusion. Dans cette direction, sur laquelle nous allons revenir d'un mot dans un moment, la première chose était de rechercher quelle est l'influence de la fusion sur les substances que l'on veut imiter. On s'aperçoit alors que la plupart des minéraux naturels renferment, et parfois en proportion très notable, des éléments volatils et qui se dégagent à une température plus ou moins élevée, suivant les cas.

La figure 109 montre ce qu'on obtient par exemple par

la fusion de l'obsidienne, ou verre des volcans, mais la substance compacte ainsi produite a été précédée par un bouillonnement des plus énergiques, dû au dégagement d'une masse énorme de gaz et d'eau retenus par occlusion dans la masse même de la roche. Le verre résultant, et qui diffère si profondément de l'obsidienne par l'absence de tous ses éléments volatils, en a cependant

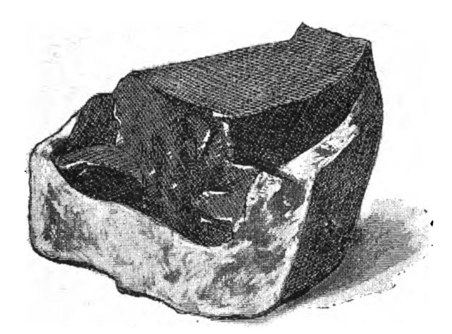


Fig. 109. — Produit de la fusion de l'obsidienne dans un creuset de porcelaine.

repris l'aspect. C'est un corps dont on pourra étudier par l'expérimentation les relations avec les roches cristallisées.

114. — Essai de dévitrification et de recuit des roches. Dévitrification de J. Hall. Dévitrification de l'obsidienne fondue.

C'est justement dans la voie à laquelle nous venons de faire allusion que se rencontrent les produits obtenus en soumettant à la dévitrification les produits de fusion fournis par des matières minérales très variées. On verra dans la collection le résultat du recuit longtemps prolongé de roches diverses, comme les dolérites et les basaltes, étudiées par MM. Fouqué et Lévy, et de beaucoup d'autres substances. Par exemple, les obsidiennes débarrassées de leurs éléments volatils engendrent des rudiments cristallins.

Toutefois, malgré certaines ressemblances très remarquables avec des produits naturels, on doit se refuser à croire qu'aucune roche résulte en réalité de la méthode par voie de fusion pure. Toujours on trouve dans sa constitution la preuve de l'intervention de minéralisateurs élastiques, gaz ou vapeur d'eau, et c'est un des points les plus intéressants de toute la lithogénie.

115.— Graphite obtenu par refroidissement de la fonte.

De nombreux échantillons montrent comment le carbone dissous dans le fer en fusion en ressort par refroidissement sous la forme de graphite, parfois très nettement cristallisé. Bien qu'on ait découvert de véritable fonte naturelle, dans les roches d'Ovifak au Groënland, il est cependant permis de dire que le graphite de la nature ne paraît s'être jamais constitué de cette manière. Des expériences, qui seront citées plus loin, conduisent à croire qu'il résulte en général, soit d'une distillation, poussée à fond, de substances organiques, soit de réactions gazeuses entre des composés volatils du carbone, comme ses chlorures ou ses sulfures et des corps capables de s'emparer du chlore ou du soufre. C'est ce qui a eu lieu dans les fers météoriques, ainsi qu'on le verra plus loin, et non seulement pour le graphite, mais même pour le diamant.

116.— Silicates produits par la fusion de leurs éléments.

De nombreux silicates peuvent être obtenus par la simple fusion de leurs constituants, mélangés en proportion convenable : c'est par exemple ce qui a lieu pour les pyroxènes et, entre autres, pour le bisilicate de manganèse ou *Rhodonite*, remarquable par la netteté de sa forme cristalline. Les minéraux que nous avons cités dans les laitiers d'usine et dans les forts vitrifiés seraient à mentionner ici avec beaucoup d'autres.

117. — Méthode d'Ebelmen.

Cette méthode, extrêmement féconde, a fourni à son auteur un très grand nombre de synthèses (émeraude, péridot, pyroxènes, etc.). (*Recueil des travaux de M. Ebelmen*, t. I, p. 156, 1855.)

Elle consiste à évaporer, au feu du four à porcelaine,

des solutions dans l'acide borique fondu de matières destinées à se combiner. La synthèse du spinelle ou rubis balai est réalisée par évaporation d'une solution renfermant de l'alumine et de la magnésie additionnée de traces d'oxyde de chrome.

La figure 110 représente l'appareil qui a servi à cette reproduction. Dans une capsule de platine, on place de l'acide borique pulvérisé mélangé d'une proportion convenable d'alumine et de magnésie et d'une trace de bichromate de potasse. On porte le tout au rouge vif et

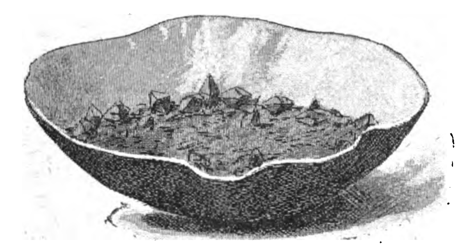


Fig. 110. — Synthèse du rubis balai par la méthode d'Ebelmen.

la fusion de l'acide borique détermine la dissolution complète des matières ajoutées. La capsule est alors placée dans un four à porcelaine et maintenue au rouge blanc pendant plusieurs jours, sans interruption, sur le trajet d'un courant d'air convenablement réglé. Dans ces conditions, l'acide borique s'évapore lentement, et comme la solution d'aluminate de magnésie était saturée au début, on voit se déposer des cristaux de spinelle; le chrome le colore en rouge et en fait des rubis balai tout à fait identiques à ceux de la nature.

L'auteur a varié son expérience d'un très grand nombre de façons, et elle lui a procuré la synthèse de minéraux très variés. Toutefois il faut remarquer qu'elle n'a guère d'intérêt en dehors de la chimie, car il est impossible d'en appliquer les conditions à l'histoire des composés naturels : on peut hardiment affirmer qu'aucun minéral naturel et, par conséquent, que nulle roche, ne se sont produits selon le procédé d'Ebelmen.

118. — Cristallisation des aluminates sous l'influence d'une brasque fluorée.

Synthèse du spinelle, par la fusion dans un creuset de graphite brasqué de fluorine, un mélange d'alumine et de magnésie chromée. (Stanislas Meunier. *Bulletin de la Société de Minéralogie*, t. X, p. 190.)

Un certain nombre d'échantillons exposés sont destinés à montrer comment l'intervention de substances minéralisatrices volatiles est décisive, pour déterminer la cristallisation des espèces minérales de synthèse. Par exemple si l'on fait fondre un mélange d'alumine et de magnésie (un peu chromatée) dans un creuset brasqué de fluorine, le fluor, sans entrer en combinaison avec le produit, amène le spinelle à un état cristallin aussi parfait que l'était précédemment celui qui a été préparé par Ebelmen.

119. — Synthèse du corindon.

Dans les mêmes expériences, une partie de l'alumine a cristallisé sans se combiner à la magnésie et s'est constituée à l'état de corindon.

120. — Synthèse du péridot et du pyroxène par scorification de siliciures.

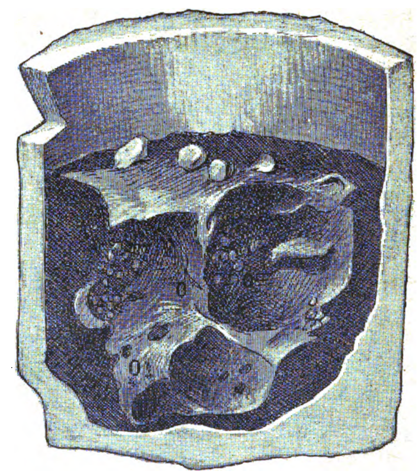


Fig. 111. — Synthèse du pyroxène augite par voie de scorification.

En soumettant à l'action du chalumeau oxhydrique du siliciure de fer, dans un creuset brasqué de magnésie, on produit du péridot. Daubrée a décrit cette reproduction dans ses *Etudes synthétiques de Géologie expérimentale*, p. 524, 1879.

La figure 111 représente l'échantillon qu'il a déposé dans les collections du Muséum. On voit en O des cristaux parfaitement déterminables d'augite.

121. — Synthèse de la molybdénite et des sulfures analogues.

En chauffant le molybdate d'ammoniaque mélangé à un excès de fleur de soufre, on obtient la reproduction de la molybdénite. (Stanislas Meunier. *La Nature*, t. XXXVI, p. 32, 13 décembre 1890.)

L'opération se fait dans un petit creuset de terre qu'on chauffe au gaz après y avoir mis le mélange des corps réagissants. L'excès de soufre se volatilise en même temps que le sel ammoniacal se décompose et le sulfure de molybdène se présente absolument pur, avec tous les caractères physiques, chimiques et cristallographiques de la molybdénite naturelle. On peut préparer par la même méthode les sulfures de tungstène, de vanadium et des autres métaux analogues.

122. — Méthode de Gay-Lussac.

Synthèse du fer oligiste par la réaction mutuelle dans un tube de porcelaine chauffé au rouge de la vapeur de chlorure de fer et de la vapeur d'eau.

L'appareil mis en œuvre, et qui est exposé, est représenté figure 112.

Il consiste en un fourneau à reverbère, dans lequel est disposé un tube de porcelaine C. On y fait arriver deux substances gazeuses capables de réagir mutuellement en produisant le minéral dont on veut réaliser la synthèse. Ces matières peuvent résulter de l'ébullition de produits placés dans les deux cornues H et E ; mais, suivant les cas, on est conduit à modifier de diverses façons cette portion de l'appareil. Il peut même se faire qu'un seul des deux réagissants gazeux arrivant dans le tube,

l'autre résulte du chauffage d'un produit solide préalablement placé dans une nacelle introduite dans le tube.

C'est ce dernier dispositif qui convient le mieux pour la synthèse de l'oligiste. Une nacelle de porcelaine pleine de sesqui-chlorure de fer est placée dans le tube, et dès que la température est convenable, c'est-à-dire quand l'appareil se met à rougir, on commence à faire arriveral

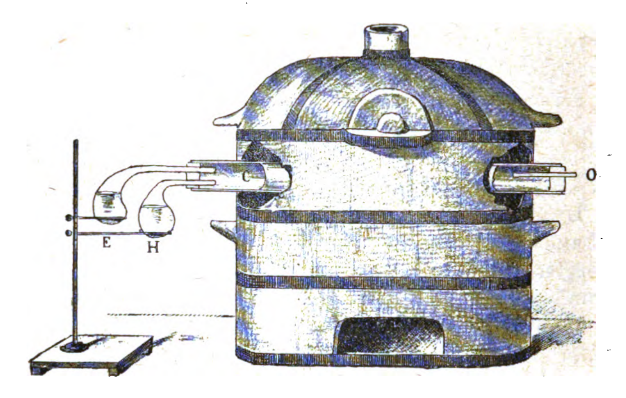


Fig. 112. — Appareil de Gay-Lussac pour les synthèses minéralogiques.

de vapeur d'eau. On chauffe alors progressivement et on continue l'expérience tant qu'il se dégage de l'acide chlorhydrique. Après refroidissement on trouve la capsule et le tube tapissés de cristaux d'oligiste ayant rigoureusement tous les caractères du minéral naturel.

La méthode de Gay-Lussac, exceptionnellement satisfaisante au point de vue théorique, s'est montrée pratiquement d'une très grande fécondité. Elle a rendu compte de l'origine de tous les minéraux (gangues et minéraux) des gîtes dits stannifères. Les deux numéros suivants sont relatifs à des variantes choisies entre bien d'autres.

123. — Synthèse de la cassitérite par la réaction du chlorure d'étain et de la vapeur d'eau (Daubrée).

124. — Synthèse du corindon en lamelles hexagonales

par la réaction du chlorure d'aluminium et de la vapeur d'eau (Stanislas Meunier).

125. — Synthèse de silicates anhydres par la réaction mutuelle de vapeurs :

a) Pyroxène magnésien (fig. 113);

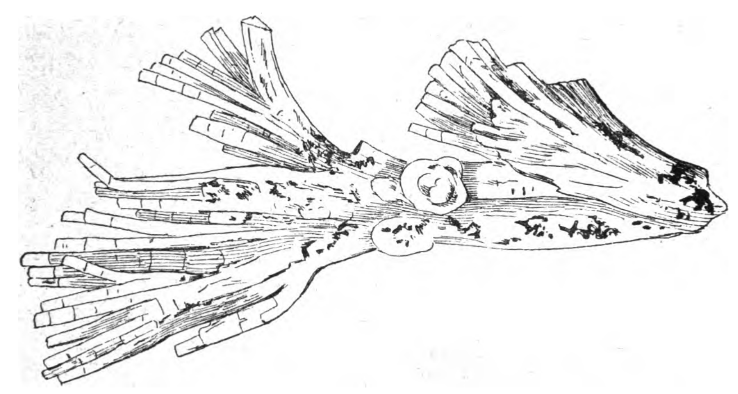


Fig. 113. — Pyroxène magnésien obtenu par la réaction mutuelle des vapeurs (Méthode de M. Stanislas Meunier). Echantillon très fortement grossi (Dessin de Carl Vogt).

b) Péridot ;

c) Amphigène, etc.

La méthode consiste à faire réagir, dans le tube de Gay-Lussac, la vapeur d'eau sur la vapeur de chlorure de silicium et sur la vapeur de magnésium (M. Stanislas Meunier).

Ce procédé a jeté le plus grand jour sur l'histoire des roches primordiales : il a étendu ses conséquences, non seulement à tous les types de roches silicatées magnésiennes qui font la coque initiale de notre globe, mais même à ceux des roches analogues qui tombent des espaces célestes sous la forme de météorites.

A ce dernier égard, il y aura lieu d'y faire allusion un peu plus loin.

126. — Synthèse des fers nickélifères par la réaction du chlorure de fer sur l'hydrogène dans le tube de Gay-Lussac.

Application à la synthèse des roches à fer natif du Groënland (M. Stanislas Meunier).

On a exposé des granules de fer qui présentent les mêmes caractères de composition, de structure et de forme que les grenailles renfermées dans la dolérite d'Ovifak, dans l'île de Disko. La figure 114 montre ce qu'on obtient quand on réalise la synthèse dont il s'agit dans un tube où on a préalablement accumulé des fragments de roches et par exemple des fragments de dolérite ou un mélange de grains cristallisés de pyroxène et de labrador. L'alliage se constitue dans tous les interstices, avec la forme même de ces interstices et l'allure ramuleuse ou même capillaire quand les vides sont suffisamment petits. C'est exactement l'allure qu'on trouve dans

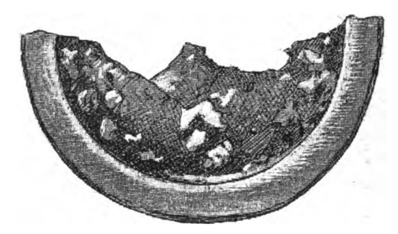


Fig. 114. — Granules de fer nickelifères obtenus dans les interstices de fragments pierreux qu'ils cimentent, en reproduisant un des traits des roches à fer natif du Groënland.

les roches naturelles et c'est aussi celle qu'on observe pour les granules métalliques des fers météoriques.

127. — Synthèse du platine ferrifère de l'Oural.

L'expérience précédente réalisée avec le mélange du chlorure de fer et du chlorure de platine tous les deux en vapeur procure des alliages de platine et de fer ayant la composition de ceux qu'on exploite dans l'Oural et la forme en granules tuberculeux qu'on leur a signalée.

128. — Synthèse de la Daubréelite ou sulfure double de chrome et de fer.

Elle se fait en deux temps :

1° Production d'un alliage, de fer et de chrome par réduction des chlorures par l'hydrogène ;

2° Sulfuration de cet alliage, par l'hydrogène sulfuré au rouge (Stanislas Meunier).

129. — Synthèse du fer chromé.

Elle se fait en deux temps :

1° Production d'un alliage de fer et de chrome par réduction des chlorures par l'hydrogène;

2° Oxydation de cet alliage, par la vapeur d'eau au rouge (Stanislas Meunier).

§ 2. — *Méthode de la voie mixte.*

130. — Appareil de Sénarmont.

Il consiste en un tube de verre scellé à la lampe dans lequel on a mis des corps destinés à réagir à la température de 200 à 300 degrés où l'on réalisera l'expérience.

Pour empêcher que la réaction soit prématurée, l'une des deux dissolutions est enfermée dans une ampoule dont l'explosion est assurée par la présence d'une bulle d'air. Le tube, convenablement chargé, est placé dans un canon de fusil fort résistant contenant un peu d'eau pour préserver le verre de rupture, grâce à la contrepression des vapeurs sur ses deux faces. Le canon est fermé d'une manière étanche.

La figure 115 montre en coupe la construction du tube de fer C, fermé par un bouchon à vis B.

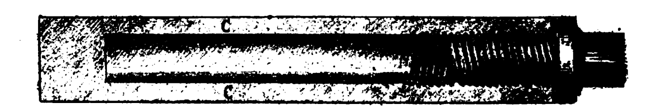


Fig. 115. — Tube de fer employé par Sénarmont pour les synthèses minéralogiques de la voie mixte.

Les espèces minérales qui ont été reproduites par son emploi sont innombrables et comprennent d'abord toutes celles qui constituent les gangues aussi bien que les minerais des filons et des gîtes dits plombifères. On a exposé quelques-uns d'entre eux comme la galène, le quartz, la calcite. On sait que postérieurement aux célèbres travaux de Sénarmont on a perfectionné beaucoup le mode opéra-

toire qui permet d'en reproduire les résultats. Les spécimens exposés tirent une partie de leur très vif intérêt de leur caractère historique.

131. — Appareil préparé par M. Daubrée. Cet appareil n'a qu'un intérêt historique ; on réalise maintenant la fermeture bien plus simplement.

Il n'a d'ailleurs jamais été utilisé.

132. — Tubes de fer déchirés pendant les expériences. Ils témoignent de l'énergique pression sous laquelle on opère.

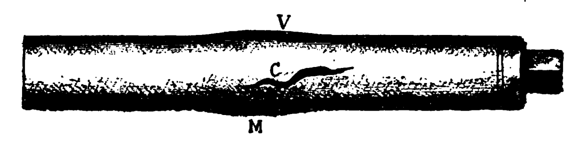


Fig. 116. — Tube de Sénarmont ayant fait explosion au cours de l'expérience.

La figure 116 fait voir que parfois, malgré leur très grande résistance, les tubes employés dans les expériences de Sénarmont peuvent faire explosion. On voit comment la crevasse C s'est ouverte dans une région V M qui s'était préalablement gonflée. Ce tube a été donné au Muséum par Daubrée et il provient de l'une des expériences de ce savant.

133. — Tubes de verre transformés par l'eau suré-

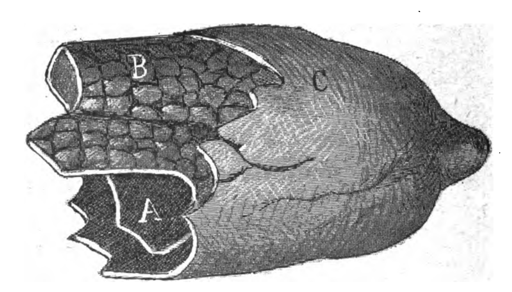


Fig. 117. — Tube de verre soumis à l'action de l'eau suréchauffée dans l'appareil de Sénarmont. (Double de grandeur.)

chauffée. M. Daubrée a étudié l'action de l'eau suréchauffée sur le verre et les résultats ont pu être étendus, par comparaison, à l'histoire de certaines roches silicatées. La figure 117 fait voir au grossissement de deux diamètres l'état auquel le verre est parvenu : il s'est gonflé et est devenu friable ; en même temps il s'est décomposé en plusieurs parties : une matière blanche la plus volumineuse et qui est un silicate très hydraté, et en même temps en minéraux cristallisés qui sont exposés à côté du tube et dont les plus nets sont le quartz ou cristal de roche et le pyroxène diopside ; en outre l'eau est chargée de silicate alcalin.

134. — Application de la méthode de Sénarmont à l'étude des minéraux et des roches dits métamorphiques.

Imitation des empreintes végétales du terrain houiller.

Une fronde de fougère a été comprise entre deux plaques d'argile plastique bien malaxées et gorgées d'eau :

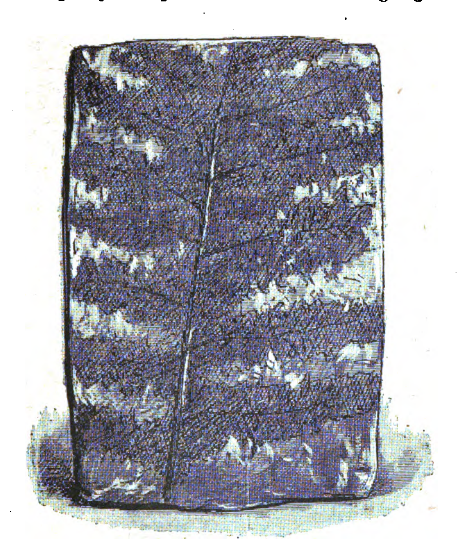


Fig. 118. — Imitation expérimentale des empreintes fossiles des terrains métamorphiques et spécialement des vestiges de plantes du terrain houiller. — 2/3 gr. n.

elle s'y est trouvée comme dans un tube fermé. Après dessiccation, on a chauffé au rouge naissant et, comme résultat de l'expérience,on a trouvé la plante carbonisée, enchâssée dans une roche de nature schisteuse imprégnée de matière charbonneuse et ressemblant intimement aux productions houillères.

La figure 118 représente le produit obtenu et son étude est très instructive par rapprochement avec les fossiles paléozoïques. On voit que la matière végétale a subi une distillation partielle et que sa substance a acquis, par une marche convenable de l'expérience, une composition fort approchante de celle de la houille. En outre, la roche encaissante a été pénétrée d'émanations venant du végétal et elle a été noircie, comme sont noircis de charbon, les schistes du terrain houiller.

§ 3. — *Méthodes de la voie humide.*

135. — Synthèse de l'opale hyalite par l'acide sulfu-

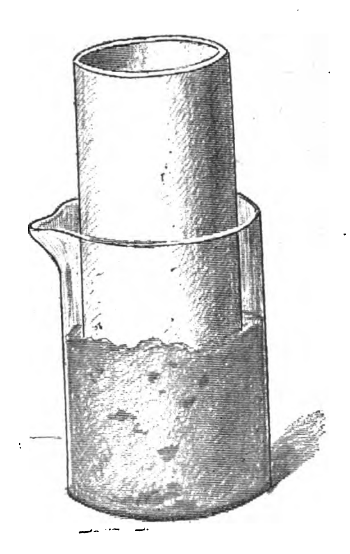


Fig. 120. — Imitation artificielle de l'opale hyalite.

rique fumant. Elle est obtenue en plongeant un vase poreux rempli d'acide sulfurique de Nordhausen, dans une solution sirupeuse de silicate de soude. Le produit lavé a toutes les propriétés chimiques et physiques de l'hyalite (Stanislas Meunier).

On voit dans la figure 120 comment l'expérience a été conduite.

Les applications qu'on peut en faire à la géologie sont un peu éloignées, et il ne faut pas supposer que l'acide sulfurique fumant soit jamais intervenu dans la nature ; on doit la regarder comme représentant seulement une action déshydratante dont la cause peut être toute différente.

136. — Précipitation des solutions métalliques par la galène et les autres sulfures métalliques.

C'est un ensemble considérable d'expériences qui a ·eté beaucoup de jour sur l'économie des filons métallifères en expliquant de nombreuses associations de substances.

a) Argent métallique précipité par la galène.

b) Or métallique précipité par la pyrite de fer.

c) Brochantite précipitée par la galène, etc.

(Stanislas Meunier. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXXXIV, p. 638, 1877, et t. LXXXVI, p. 686, 1878.)

La figure 121 est relative à la précipitation de l'argent métallique, réalisée par la galène. C'est une expérience élégante et qui consiste à abandonner un cube de clivage de galène dans la solution aqueuse du nitrate d'argent. Au bout de deux ou trois jours on voit se faire une végétation d'argent métallique qui grandit progressivement surtout si on ajoute de temps à autre des cristaux de sel d'argent. A première vue il y a ressemblance entre cette expérience et le célèbre *arbre de Diane* des alchimistes ; mais la théorie de la réaction est toute différente, et il y a ici du soufre libre qui est précipité.

On doit croire que cette synthèse jette du jour sur la

présence si fréquente de l'argent dans la galène qui peut en même temps être sulfurifère.

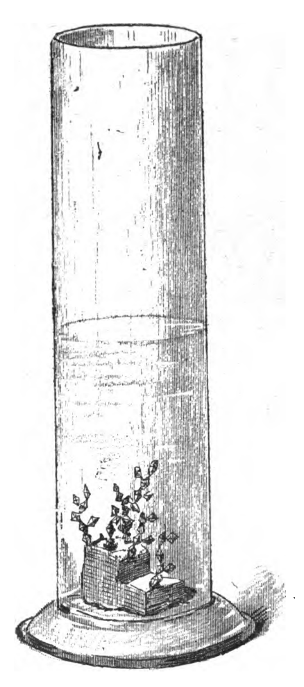


Fig. 121. — Précipitation métallique réalisée par les sulfures naturels.

137. — Cristallisation lente du gypse dans l'acide chlorhydrique.

Un fragment d'albâtre de Thorigny, abandonné pendant plusieurs années dans de l'acide chlorhydrique pur, a donné peu à peu naissance à une magnifique cristallisation qui explique une foule de particularités de structure de maintes roches naturelles. Les cristaux absolument limpides, présentant les faces ordinaires du gypse de l'argile plastique de Paris, mesurent jusqu'à 6 centimètres de longueur.

Quoiqu'on puisse varier beaucoup les conditions de cette expérience, l'exemple choisi et qui est représenté dans la figure 122, offre un intérêt pratique tout particulier, car il est très fréquent de trouver en pleine masse de l'albâtre de Thorigny des régions qui sont formées de gypse lamellaire ayant la plus grande analogie avec les groupes cristallisés représentés.

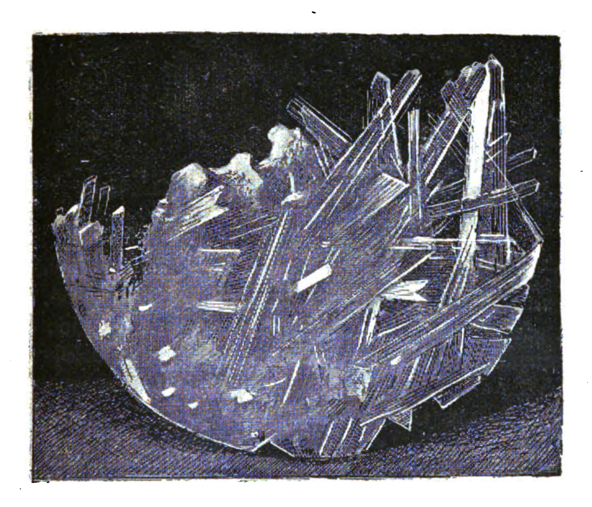


Fig. 122. — Transformation artificielle de l'albâtre de Thorigny en gypse cristallisé à larges lames.

139. — Imitation expérimentale des dendrites de fer et de manganèse sur les roches calcaires.

En immergeant des échantillons de calcaires cristallins ou compactes dans des solutions aqueuses de sulfate de manganèse additionnées de sulfate de fer, on a vu se faire des dendrites noires identiques dans leur composition et dans leur allure aux dendrites de la nature (Stanislas Meunier).

On voit, figure 123, comment les choses se présentent quand on opère avec du calcaire lithographique immergé

dans le mélange des deux sulfates. Pour bien réussir il faut rapprocher l'un de l'autre deux fragments de calcaire de façon à ne laisser entre eux qu'un espace très étroit.

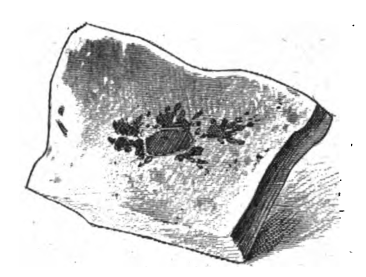


Fig. 123. — Reproduction artificielle des dendrites de manganèse. — 1/2 G. N.

140. — Imitation des dendrites de manganèse sur des roches non calcaires par le permanganate de potasse.

En gâchant du plâtre à mouler avec une solution de permanganate de potasse, on a vu la plaquette solide se moucheter de très petites dendrites qui sont à rapprocher des précédentes (M. Stanislas Meunier).

141. — Cristallisation du gypse sous l'influence minéralisatrice du sel gemme.

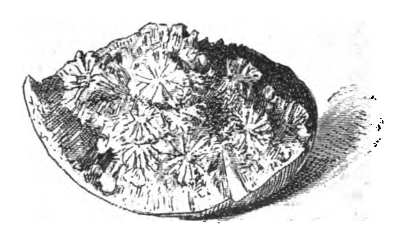


Fig.124. — Cristallisation du gypse sous l'influence de l'eau salée.

On gâche du plâtre de Paris et on en fait, par moulage dans des ballons de verre, des boules de 3 à 4 centi-

mètres de diamètre. Après la prise, on brise les ballons et les boules sont abandonnées pendant vingt-quatre heures dans une étuve à une température de 100 et quelques degrés. Quand elles sont ainsi bien sèches et après leur refroidissement, on les immerge dans une dissolution, saturée et froide, de chlorure de sodium et on les y laisse jusqu'à imprégnation complète, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'il ne reste plus dans le plâtre aucune bulle d'air. Les boules sont alors déposées sur du papier à filtrer et abandonnées à la dessiccation.

Au bout de quelques jours on les voit exsuder des aiguilles et des petits cubes de sel gemme, et très fréquemment elles se crevassent en sens divers. Si on les brise après leur dessiccation achevée, on constate qu'elles sont extrêmement cristallines. Le gypse qui s'y est reconstitué a repris ses formes naturelles et ses cristaux ont fréquemment 5 millimètres de longueur. Bien des fois on les a vus se réunir en espèces d'oolithes radiés atteignant 1 centimètre de diamètre. Ces faits, qui s'expliquent par une espèce de propriété cristallogénique du sel gemme, sont de nature à élucider beaucoup de particularités de l'histoire du gypse. Les chlorures de strontium et de baryum paraissent jouir de propriétés comparables à celles du sel marin, mais bien moins accusées.

142. — Imprégnation des calcaires par des minéraux solubles : histoire des roches bituminifères.

Des fragments de calcaire à milliolites, comme il en existe en si grande abondance dans les zones moyennes du calcaire grossier de Paris, sont bien séchés, puis immergés dans du bitume tenu en dissolution à l'aide du sulfure de carbone. Après quelques jours, ces blocs étant sortis du liquide, on les coupe en lames minces et on les étudie au microscope. On constate que le bitume s'est insinué dans les intervalles des éléments rocheux, avec une allure identique à celle qu'on voit dans les roches naturellement bitumineuses.

Ces expériences ont été répétées avec des substances très diverses.

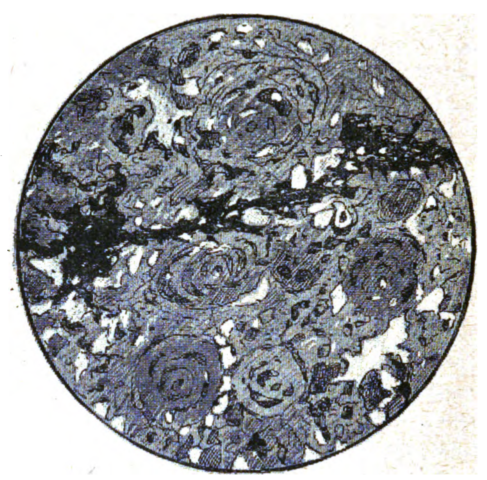


Fig. 125. — Calcaire grossier imprégné de bitume et présentant les mêmes particularités de structure que les calcaires naturellement bituminifères. Lame mince vue au microscope; grossissement 60 diamètres.

TROISIÈME PARTIE

APPLICATION DE LA MÉTHODE EXPÉRIMENTALE A L'ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES MÉCANIQUES D'ORIGINE PROFONDE

CHAPITRE Ier.— ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE L'OROGRAPHIE OU FORMATION DES CHAINES DE MONTAGNES

§ 1er. — *Production de la Schistosité.*

143. — Expériences de Tyndall.

Structure argileuse développée dans de l'argile par la pression.

144. — Expériences de Daubrée.

Argile rendue schisteuse par la pression.

De l'argile mélangée de paillettes de mica est bien malaxée avec une quantité convenable d'eau, puis placée

en D (fig. 126) dans une caisse située au-dessus du piston d'une presse hydraulique. L'argile comprimée est amenée à sortir par un orifice ménagé à la partie supérieure et se présente sous la forme du prisme A. En

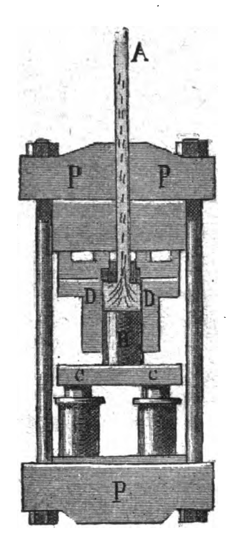


Fig. 126. — Argile soumise à la presse hydraulique et prenant par écoulement la structure feuilletée.

examinant celui-ci, on s'aperçoit qu'il est devenu schisteux et feuilleté par suite de l'orientation uniforme de toutes les paillettes qui se sont disposées de façon à opposer au courant boueux le minimum de résistance.

L'application de ce fait à l'histoire des phénomènes naturels est de tous les instants.

145. — Fragment de brique présentant la structure schisteuse en conséquence des conditions de sa fabrication.

On a exposé des fragments de briques et de poteries qui présentent une structure feuilletée, ressemblant à celle des roches schisteuses, pour montrer avec quelle

facilité la pression détermine l'orientation des éléments des pâtes plastiques. Il s'agit en effet du résultat déterminé exclusivement par le laminage de la terre avant sa cuisson.

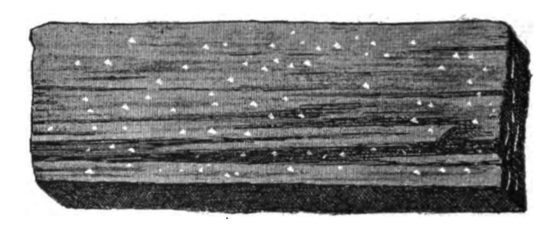


Fig. 127. — Brique devenue schisteuse à cause du laminage qu'elle a subi avant sa cuisson.

Beaucoup d'autres substances éprouvent les mêmes effets dans les mêmes circonstances, et c'est ce que montrent les deux spécimens suivants :

146. — Fragments de stéarine en pains, présentant la structure schisteuse à la suite de sa compression dans un sac de crin.

147. — Lame de fer présentant la structure schisteuse à la suite de son passage au laminoir.

148. — Fragment de craie cylindro-conique imitant la forme d'une bélemnite et qui a été tronçonné par le laminage de l'argile où on l'avait empâté (Daubrée).

La déformation des fossiles dans les roches schisteuses a été l'objet de très nombreuses expériences.

Parmi elles, nous avons choisi, pour en exposer le résultat, celle qui est représentée figure 128. Un cylindre de craie est enveloppé d'argile plastique convenablement corroyée et le tout est passé au laminoir. L'argile s'aplatit, se feuillette, et s'étire et le cylindre de craie, entraîné par l'écoulement boueux, se tronçonne en fragments qui s'écartent les uns des autres.

C'est une imitation remarquablement exacte de l'état des bélemnites dans beaucoup de régions schisteuses et

spécialement dans les phyllades liasiques du mont Lachat, en Haute-Savoie.

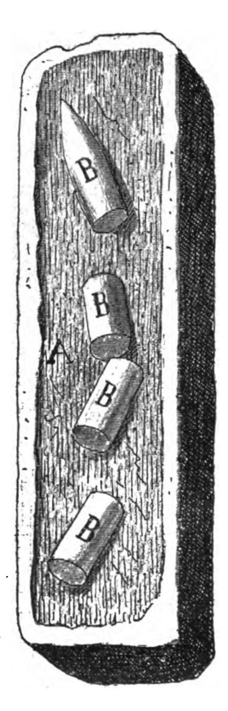


Fig. 128. — Cylindre de craie tronçonné par le laminage de l'argile dans laquelle on l'avait empâté.

149. — Étirement et tronçonnement d'un test de bélemnite par le laminage d'un prisme de plomb dans lequel elle était encastrée (Daubrée).

150. — Production de la structure en éventail dans une masse d'argile qui s'est écoulée entre deux plaques très rapprochées l'une de l'autre (Daubrée).

Un bloc d'argile bien corroyée et mélangée de paillettes de mica, est placé entre deux plaques de fonte et soumis à l'effort de la presse hydraulique. En se rapprochant

l'une de l'autre, les plaques déterminent l'écoulement transversal et par conséquent la schistosité de l'argile, conformément aux faits qui viennent d'être mentionnés. Mais au moment où l'argile, en s'écoulant, déborde les

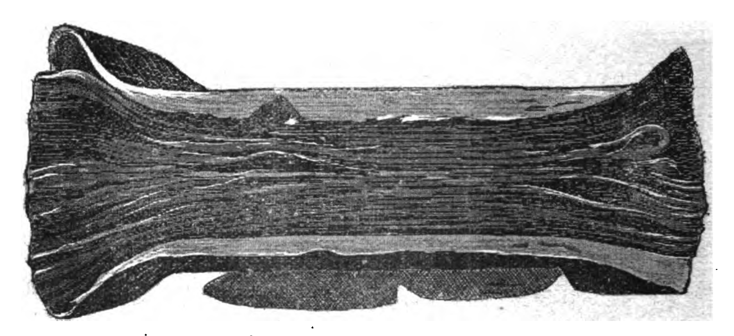


Fig. 129. — Imitation artificielle de la structure en éventail.

plaques, elle se gonfle et ses feuillets se mettent à diverger les uns par rapport aux autres. Il en résulte une disposition en éventail, bien visible dans la figure 129 et qui présente de grandes analogies avec la disposition générale des masses rocheuses constitutives des grandes chaînes montagneuses.

151. — Production de la structure en éventail dans une lame de plomb.

C'est une variante de l'expérience précédente.

152. — Schistosité obtenue dans le sens même de la pression par glissement le long d'une bande de caoutchouc (Stanislas Meunier).

§ 2. — *Production des plis.*

153. — Appareil de James Hall pour l'étude expérimentale des plis.

C'est une caisse rectangulaire en bois dont un des petits côtés verticaux peut être progressivement rapproché de son vis-à-vis à l'aide d'une vis. Des feuilles de

papier, ou des étoffes, ou des plaques d'argile, ou de cire peuvent être ainsi déformées de façon à imiter les couches en C, les couches en U et les couches en S des montagnes.

Cet appareil a été mis en usage plus récemment par M. B. Willis.

La figure 130 montre la forme que nous avons donnée à cet instrument qui peut être utilisé dans une foule de circonstances et qui a rendu les plus grands services.

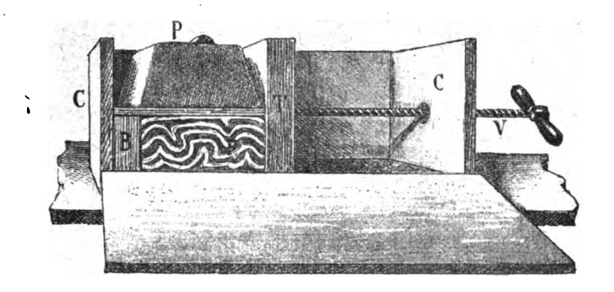


Fig. 130. — Appareil de James Hall pour l'imitation expérimentale des plis.

Dans l'un des côtés de la caisse C pénètre une vis V dont la tête est prise dans la planche I, qu'elle peut faire avancer ou reculer. Des feuilles de papier P, placées d'abord horizontalement les unes sur les autres, représentent les assises du sol; on les surcharge d'une planchette et du poids P et on les refoule. En variant les dispositions, on arrive à imiter une foule de circonstances relatives aux roches pliées et contournées des pays de montagnes.

154. — Appareil de Daubrée pour l'étude expérimentale des plis. C'est un cadre en fer M, N, O, P (fig. 131), présentant des vis convenablement disposées sur ses bords et dans lequel on peut contourner des lames de plomb de différentes façons.

La figure suffit pour qu'on saisisse la manière d'employer l'appareil. Une lame de plomb L est placée entre deux planches AA et BB. Avec la vis V, on peut la refouler comme dans l'appareil de James Hall (V. n° 153), mais avec les vis V'V' on peut la maintenir.

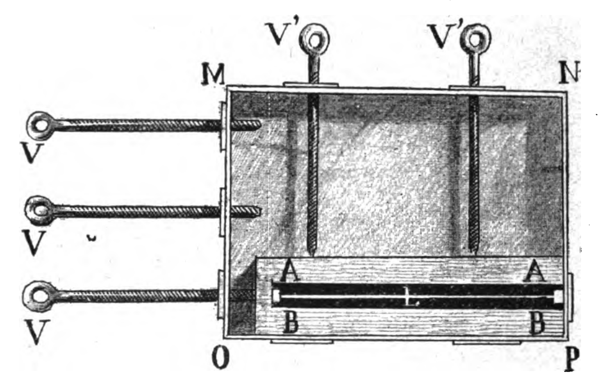


Fig. 131. — Appareil de Daubrée par l'étude expérimentale des plis.

On a placé à côté de ce cadre quelques-uns des produits qui ont été obtenus par son moyen.

155. — Appareil d'Alphonse Favre pour la production des plis.

Il consiste en une feuille épaisse de caoutchouc fortement tendue et qui, par sa contraction, refoule des lits d'argile dont on l'a recouverte. Cet appareil a été repris par M. Schardt et par d'autres expérimentateurs.

On en voit les parties principales dans la figure 132 qui a été dessinée d'après le modèle construit par la maison Deyrolle.

Pour en faire usage, on distend la feuille de caoutchouc à l'aide de la manivelle, puis on dispose sur elle une plaque d'argile convenablement gâchée avec ou sans mélange de sable ou d'autre substance étrangère. On laisse alors le caoutchouc revenir sur lui-même et celui-ci, en entraînant la masse qui le recouvre, y détermine

des ondulations et des plis qui ont été étudiés avec grand profit pour les notions tectoniques maintenant acquises. On a par exemple précisé les conditions où se font les ploiements en U, en C et en S qui sont si fréquents dans l'architecture des grandes chaînes de montagnes.

En superposant plusieurs lits d'argile ayant des qualités différentes, on a compliqué les effets obtenus de la manière la plus intéressante.

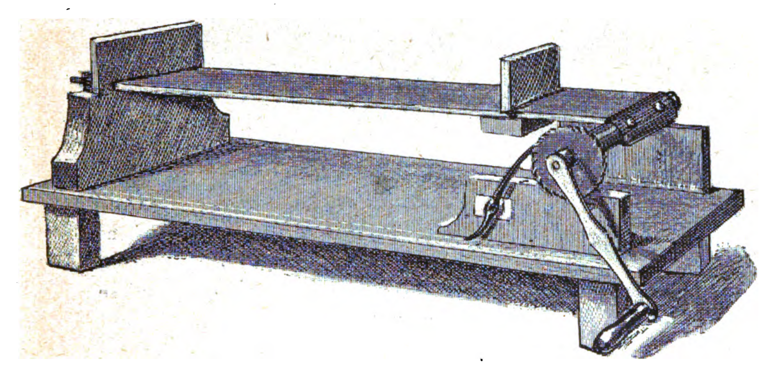


Fig. 132. — Appareil d'Alphonse Favre, pour la production des plis, par la rétraction du caoutchouc préalablement distendu.

156. — Plis obtenus artificiellement sur de la cire (Daubrée).

157. — Appareil propre à l'étude expérimentale des crochons de roches.

Il consiste en deux lames quadrangulaires en plomb retenues par des colliers et entre lesquelles on peut placer une plaque d'argile, ou de plâtre, ou d'autres substances. En tordant ces lames on amène, dans la matière pierreuse, des accidents analogues à ceux qu'on observe dans les crochons naturels et en les étudiant on arrive à préciser le fait si important de la fausse plasticité des roches qui, malgré leur grande fragilité et à cause des raccommodages qui relient leurs débris, peuvent prendre successivement des allures diverses (Stanislas Meunier).

Parmi les effets que cet instrument a permis d'observer, on signalera spécialement la production d'une

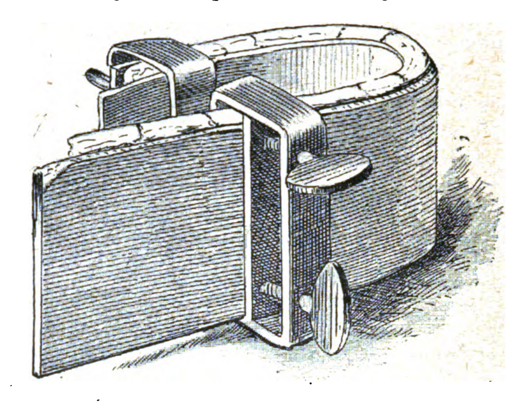


Fig. 133. — Appareil propre à l'imitation artificielle des crochons de roches.

schistosité dans le sens même de la pression et qui se retrouve dans les crochons naturels.

§ 3. — *Production des cassures : Faillage et phénomènes connexes.*

158. — Imitation des stylolithes. Pain de savon à la glycérine soumis à la presse : production de surfaces internes de glissement (Daubrée) (fig. 134).

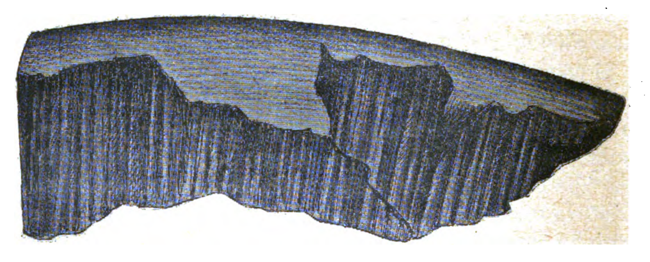


Fig. 134. — Stylolithes artificiels produits par la pression dans un pain de savon à la glycérine.

Les expériences montrent combien l'on s'était trompé parfois en croyant voir dans les stylolithes des vestiges

de corps organisés fossiles : ce sont exclusivement des résultats de glissements internes.

159. — Imitation des galets impressionnés par voie de compression (Stanislas Meunier).

On a vu au nº 23 que l'imitation des galets impressionnés a été tentée par voie chimique. Mais, comme nous l'avons dit alors, le phénomène est d'essence essentiellement mécanique. C'est ce que démontrent les expériences par voie de pression.

On commence par préparer des boules de plâtre, comme nous l'avons indiqué au nº 25, et quand elles ont acquis, par immersion dans l'eau salée, une consistance favorable, on les soumet à une pression convenablemnet mesurée. On voit alors ces boules en contact mutuel, et, bien qu'elles aient la même dureté, se faire éprouver des déformations réciproques et des *impressions* qui reproduisent rigoureusement tous les accidents des galets du Nagelflhue par exemple. La figure 135 reproduit un des

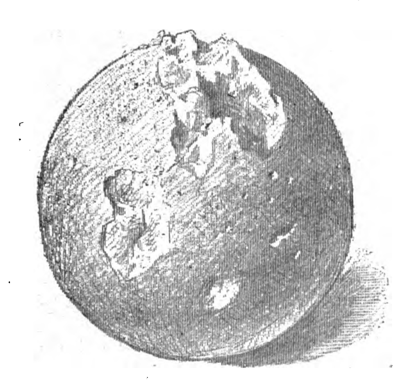


Fig. 135. — Reproduction artificielle des galets impressionnés.

spécimens obtenus, à côté duquel on en a exposé plusieurs autres.

160. — Parallélipipède de cire soumis à la pression et présentant des réseaux réguliers de cassure (Daubrée).

On commence par préparer un mélange de cire et de

plâtre dans des proportions convenables et qui correspondent à certain degré, variable d'un cas à l'autre, de plasticité ou de fragilité. Après quelques essais, on choisit le terme le plus favorable qui est alors moulé sous la forme de prismes droits à base carrée de 20 centimètres de côté et mesurant 40 centimètres de hauteur.

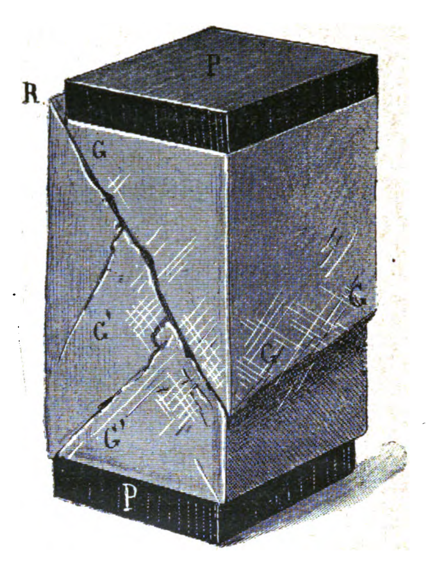


Fig. 136. — Production d'un réseau régulier de cassure dans un prisme de cire soumis à la compression.

Une fois fabriqué, le pain de cire est déposé sur un plateau de bois P et recouvert d'un plateau pareil, puis on le soumet à l'action progressive de la presse hydraulique. On constate alors la production de cassures G et G', imitant, dans leur coordination, la disposition des grandes cassures terrestres ou *géoclases*. Dans les intervales, elles montrent de fins réseaux de cassures plus petites, tendant elles aussi à affecter deux sens également inclinés sur la direction de la pression génératrice.

161. — Production des miroirs de frottement sur la paroi des cassures des roches (Stanislas Meunier).

On peut employer l'appareil d'Alphonse Favre (v. n° 155) pour étudier la production et l'origine des miroirs de frottement. Pour cela, on remplace l'argile employée par les expérimentateurs suisses par une couche épaisse de plâtre tout récemment gâché. Quand la consistance en est convenable, on laisse la bande élastique revenir sur elle-même et l'on voit des cassures s'y produire, sur lesquelles nous allons revenir. En poussant assez loin on voit, comme le montre la figure 137, des

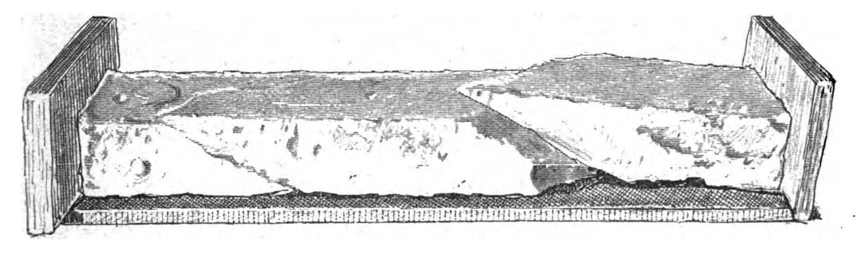


Fig. 137. — Production artificielle des miroirs de frottement.

rejets très considérables se faire et après l'expérience, les parois des cassures se montrent très fortement striées comme dans les accidents naturels qu'on voulait imiter.

162. — Lames de glace soumises à la torsion autour de leur ligne médiane et présentant des réseaux de cassures en éventail (Daubrée).

L'appareil consiste en une lame de glace épaisse VV, que l'on fixe solidement par une de ses extrémités sur une table T, après l'avoir enveloppée d'une feuille de papier soigneusement collée sur ses deux faces. On engage l'autre extrémité dans un tourne-à-gauche, dont on pourra saisir les deux poignées à l'aide des mains en MM. En fléchissant alors progressivement la glace autour de son axe, on la voit se réduire en fragments par l'entre-croisement de fines pousses qui affectent une disposition très spéciale. Elles sont en effet distribuées en éventails disposés alternativement sur les deux bords de

la plaque et qui s'enchevêtrent les uns dans les autres.

Malgré les efforts qui ont été tentés pour voir dans ces résultats une reproduction des dispositions natu-

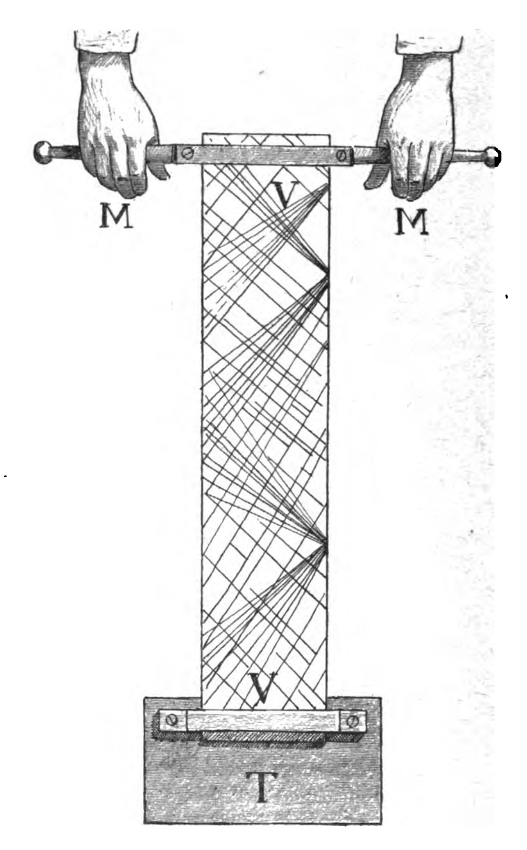


Fig. 138. — Production par torsion de réseaux de cassures dans une lame de verre.

relles, on est forcé de reconnaître que, dans aucune région de la terre, on n'a jamais rien observé qui soit comparable et on doit en conclure que les effets de torsion ne sont pas intervenus dans l'ouverture des failles,

au moins avec une allure pareille à celle qu'on leur donne dans l'appareil.

163. — Système de cassures parallèles entre elles, produit dans une couche de stéarine par l'extension de la feuille de caoutchouc qui la supportait. Ressemblance avec les déchirures des calschistes du Val-de-Tignes et de beaucoup d'autres localités (Stanislas Meunier).

Sur le caoutchouc, simplement maintenu, mais non distendu, de l'appareil d'Alphonse Favre, on coule une couche mince et bien uniforme de stéarine fondue. Après refroidissement complet, on tend progressivement la lame élastique et l'on voit alors de fines fissures transversales s'ouvrir et s'élargir parallèlement les unes aux autres.

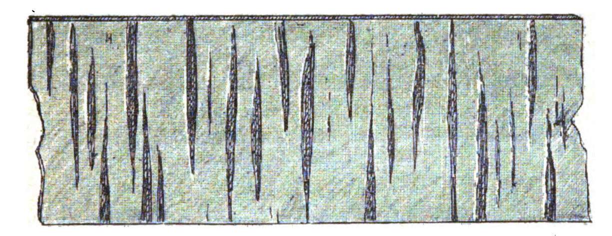


Fig. 139. — Système de cassures parallèles entre elles, obtenu par extension d'une lame mince de stéarine.

On peut, par cette méthode, étudier tous les faits relatifs à l'étirement des roches et des fossiles dont il a déjà été question au nº 148. La ressemblance du produit est surtout frappante avec les schistes étirés du Val-de-Tignes, dont les crevasses parallèles entre elles ont été ultérieurement remplies de minéraux de concrétion relativement récente.

164. — Réseau très régulier de cassures produites dans une couche de stéarine par la contraction de la feuille de caoutchouc qui la supportait. Ressemblance avec la réduction de maintes couches du sol en rhomboïdes pseudo-réguliers (Stanislas Meunier).

Sur la lame de caoutchouc de l'appareil Favre, préalablement étirée à l'aide de la manivelle, on coule comme précédemment une couche mince et bien uniforme de stéarine fondue. Après refroidissement, on laisse le caoutchouc revenir tout doucement sur lui-même.

La figure 140 représente l'effet qui se produit alors et l'on ne peut qu'être frappé de l'identité des contours des

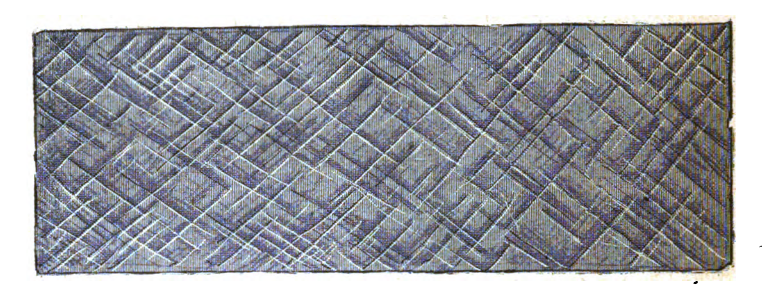


Fig. 140. — Système de cassures orthogonales obtenu par contraction d'une lame mince de stéarine.

petits polyèdres de cire ainsi produits, avec les formes des rhomboïdes dans lesquelles sont débitées tant de couches de sol, spécialement des couches anciennes qui ont pu éprouver une rétraction sur elles mêmes, du fait de leur déshydratation progressive et de la cristallisation de leurs éléments constituants.

165. — Réseau régulier de cassure produites, dans une plaque épaisse de plâtre encore mou, par la rétraction d'une lame de caoutchouc qui la supportait. Nombreuse série de résultats montrant l'influence sur la distribution et le plongement des cassures, de la forme des plaques de plâtre soumises à l'expérience.

Production des principaux accidents de structure qui caractérisent les massifs montagneux (Stanislas Meunier, *Géol. expérim.*, 2e édit., p. 71 et suiv.).

Une longue série d'échantillons concerne l'application de l'appareil Favre à l'étude des géoclases ou cassures

terrestres, et l'on peut remarquer que l'inventeur ne s'en était servi que pour la synthèse des plis et des contournements de couches. On étale sur la feuille de caoutchouc, préalablement distendue, une couche de plâtre à

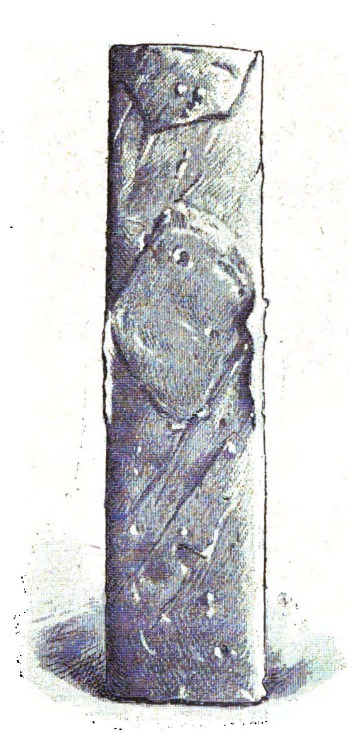


Fig. 141. — Production d'un système de cassures orthogonales, par rétraction d'une plaque de plâtre de 3 centimètres d'épaisseur.

mouler de 3 centimètres environ d'épaisseur. On attend que, par les progrès de la prise, ce plâtre ait acquis une consistance pâteuse, et alors on laisse le caoutchouc revenir progressivement sur lui-même.

La figure 141 montre comment il se produit alors un système de cassures grossièrement orthogonales et qui se font mutuellement éprouver des rejets plus ou moins accentués.

Dans la figure 142, on a fait usage d'une plaque de plâtre dont l'épaisseur, qui est de 3 centimètres à un bout, va progressivement en se réduisant jusqu'à 8 ou 9 millimètres à l'autre extrémité.

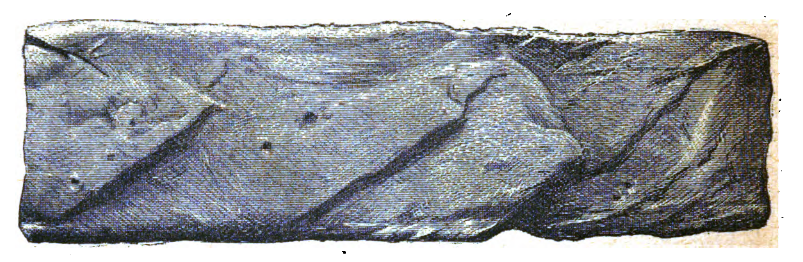


Fig. 142. — Disposition des cassures dans une plaque de plâtre dont l'épaisseur va régulièrement en croissant d'une extrémité à l'autre (de gauche à droite).

On voit que la portion droite, qui est la plus épaisse, a donné des cassures beaucoup plus écartées les unes des autres que la portion gauche, qui est la plus mince.



Fig. 143. — Production de cassures anticlinales dans une plaque de plâtre plus mince au milieu qu'aux extrémités.

Si on fait varier l'épaisseur de manière qu'elle soit plus faible au milieu qu'aux deux extrémités, on voit, en regardant la plaque de profil, c'est-à-dire comme le montre la figure 143, que les cassures produites plongent de façon à adopter une disposition anticlinale.

Au contraire, en employant une plaque qui est plus

épaisse au milieu qu'aux deux bouts (fig. 144), on produit l'effet inverse, c'est-à-dire qu'on réalise des cassures synclinales.



Fig. 144. — Production de cassures synclinales dans une plaque de plâtre plus épaisse en son milieu qu'à ses extrémités.

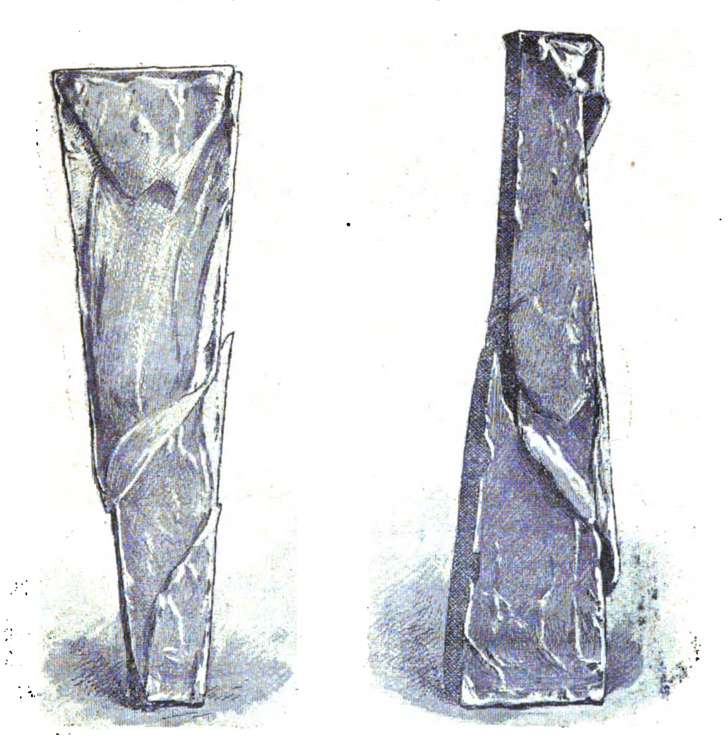


Fig. 145 (à gauche) et 146 (à droite) montrant les effets obtenus quand la plaque de plâtre a reçu la forme d'un triangle tronqué.

En prenant une plaque carrée ou circulaire plus épaisse au milieu qu'à son pourtour, on produit la surrection de sa région centrale encadrée de cassures synclinales et réalisant la disposition dite *en champignon*, qu'on a prétendu reconnaître dans la constitution géologique de Chablais.

Les expériences de cette série ont été beaucoup variées et, parmi les résultats exposés, nous mentionnerons encore ceux que représentent les figures 145 et 146.

Dans les deux cas, la pression est exercée de l'extrémité inférieure vers l'extrémité supérieure. On voit que l'un des systèmes de cassures prédomine beaucoup sur l'autre et qu'il s'est fréquemment détaché (comme on l'avait d'ailleurs vu dans beaucoup des expériences précédentes) des noyaux amygdaloïdes analogues à ceux qu'on a signalés dans bien des régions montagneuses, et par exemple au mont Blanc.

Cette série d'expériences permet de reproduire tous les faits relatifs aux *nappes de charriage* qui sont si en faveur en ce moment parmi les tectonistes.

§ 4. — *Distribution des chaines de montagnes.*

166. — Appareil de M. Stanislas Meunier pour la production de ridements concentriques par la contraction d'une calotte hémisphérique de caoutchouc.

Cet appareil (fig. 147), dont le modèle exposé a été construit par la maison Deyrolle, a pour but de permettre l'étude des phénomènes de refoulement réalisés dans la croûte solide de la terre par la contraction spontanée du noyau fluide du globe. La matière nucléaire y est représentée par une épaisse feuille de caoutchouc qu'on peut étirer (pour la laisser ensuite revenir sur elle-même), en la tendant sur une demi-sphère de bois soutenue par un support très résistant. La substance corticale est imitée par une calotte de plâtre qu'on coule sur la feuille de caoutchouc tendue, grâce au moule représenté figure 148 et qui laisse entre lui et elle un espace convenable.

167. — Résultats obtenus avec des calottes de plâtre

encore mou par la rétraction de la feuille hémisphérique de caoutchouc qui lui servait de support. Imitation des grands traits orogéniques des masses continentales (Stanislas Meunier, *la Géologie générale*, p. 70 et suiv., 1903).

Si, après avoir produit, comme on vient de le dire,

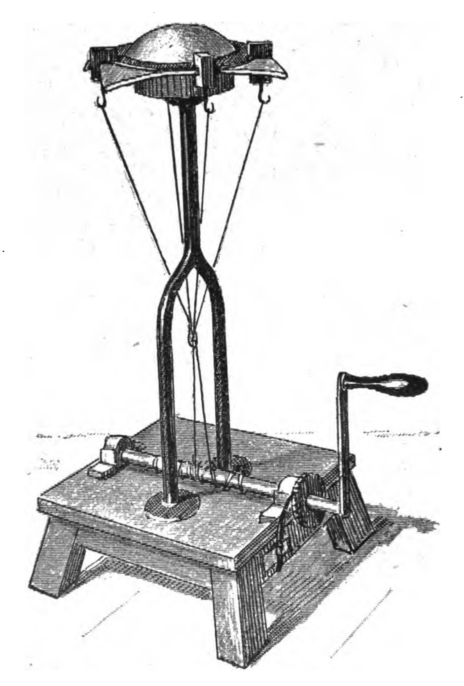


Fig. 147. — Appareil propre à l'étude expérimentale de l'orogénie générale.

une calotte de plâtre de consistance convenable et avoir supprimé le moule, on laisse le caoutchouc revenir lentement sur lui-même, on assiste à la production de cassures grossièrement concentriques au pôle. En outre, on constate que ces cassures ne sont pas simultanées et que, malgré la continuité de la contraction, elles se produisent successivement de plus en plus loin du pôle.

Enfin on voit fréquemment les cassures dont il s'agit se continuer dans une direction plus ou moins voisine des

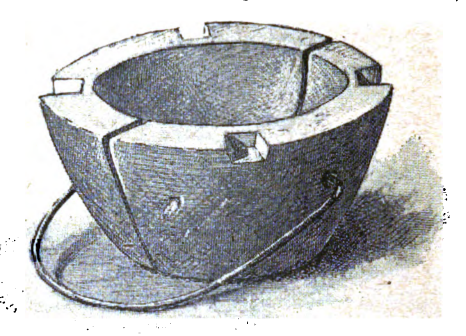


Fig. 148. — Moule propre à la confection des calottes de plâtre nécessaires à l'expérience.

méridiens (fig. 149). Tous ces détails sont conformes à ceux



Fig. 149. — Résultat obtenu avec l'appareil représenté figure 147.

qu'on a observés en étudiant la distribution générale des montagnes sur la terre, soit dans l'Eurasie, soit dans le bloc continental des Amériques.

Chapitre II. — Étude expérimentale de l'activité volcanique et sismique.

168. — Imitation expérimentale des cratères volcaniques. C'est le procédé d'abord mis en œuvre par Poulett-Scrope. Dans un plat en fer battu, on fait bouillir du plâtre à mouler gâché dans de l'eau de façon à présenter une consistance convenable. Les bulles de vapeur se succèdent bientôt en certains points d'élection autour



Fig. 150. — Imitation expérimentale des cratères volcaniques.

desquels se constituent des pustules entourées d'un cirque et ayant avec la forme des montagnes volcaniques une analogie très frappante (Stanislas Meunier, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXX, p. 225, 28 janvier 1895).

169. — Imitation expérimentale des épanchements volcaniques. En recouvrant d'une couche de sable fin la matière pâteuse en ébullition de l'expérience précédente

on voit des portions de la boue de plâtre faire éruption autour des cratères et se répandre à l'entour, de façon à rappeler les coulées volcaniques (Stanislas Meunier, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXX, p. 225, 28 janvier 1895).

170. — Imitation des éruptions volcaniques par foi-



Fig. 151. — Imitation expérimentale des épanchements volcaniques sur le sol superficiel.

sonnement de substances convenablement constituées. (Stanislas Meunier.)

L'appareil employé est représenté dans la figure 152. Il se compose de deux coins de bois ou de plâtre présentant sur leur surface commune deux petits réservoirs situés en C pour le coin de soubassement et en S pour le coin de superposition.

Pour faire l'expérience, on remplit le réservoir C d'un mélange fluide d'argile et de carbonate de chaux préci-

pité et on met dans le réservoir S de l'amiante imprégnée d'eau aiguisée d'acide sulfurique.

Cela fait, on place en avant de l'appareil et verticalement, une feuille de verre épais et bien transparent, à travers laquelle on pourra observer les effets produits; puis on fait doucement glisser le coin de superposition sur le coin de soubassement jusqu'à ce que le réservoir S vienne se placer au contact du réservoir C, ainsi que le montre la figure 153.

Immédiatement, on voit une violente effervescence se produire, et il se fait par le canal V, qu'on a ménagé à dessein, une montée de la matière argileuse en même

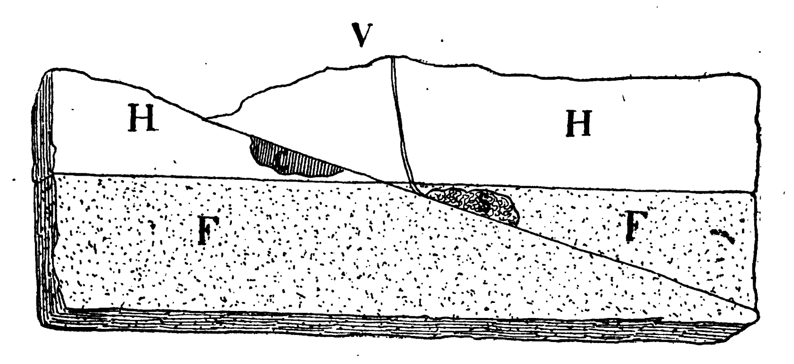


Fig. 152. — Appareil propre à l'imitation des phénomènes qui précèdent et qui accompagnent les éruptions volcaniques

temps qu'un dégagement d'acide carbonique et de vapeur d'eau. Les principales particularités de l'éruption volcanique sont réalisées.

Il serait facile, en effet, de montrer que l'appareil reproduit les conditions naturelles : il représente une petite portion de l'écorce terrestre et possède comme elle deux zones superposées : la zone H, à laquelle appartient le réservoir C, mais qui est censée avoir tout entière la même composition que son contenu, c'est-à-dire posséder une substance contenant de l'acide carbonique qui, en devenant gazeux, entraînera avec lui la matière pâteuse à

laquelle il est associé, et la zone F, chargée d'un agent (c'est l'acide sulfurique) capable de déterminer le dégagement dont il s'agit s'il se met en contact avec la zone H. Le plan oblique sur lequel se fait le glissement imite une faille orogénique, celle où le toit monte sur le mur et qui a été si bizarrement qualifiée de faille inverse. Le glissement représente le contre-coup de la contraction spontanée du noyau terrestre.

Il va sans dire que l'argile est mise ici pour tenir la place des laves fondues, l'acide carbonique celle de l'eau qu'elles contiennent à l'état d'occlusion et l'acide sulfurique celle de la haute température dont les masses profondes sont pourvues.

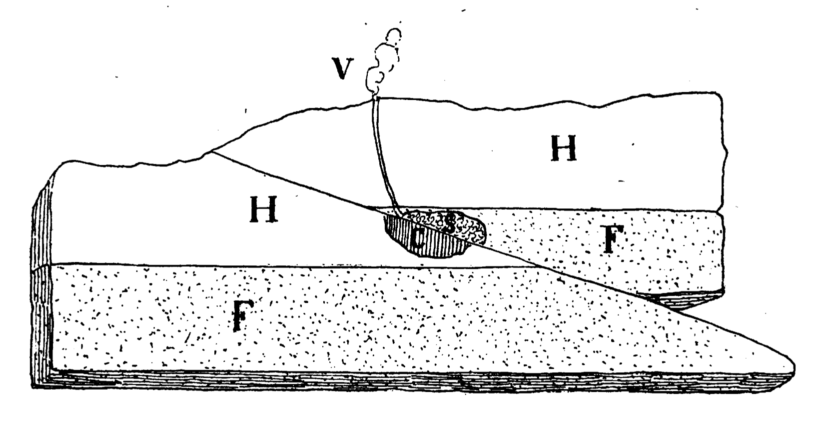


Fig. 153. — Réalisation de l'expérience avec l'appareil de la figure précédente.

172. — Tableau à glissement sur verre permettant de reconstituer les conditions souterraines qui amènent la constitution de la matière foisonnante génératrice des éruptions volcaniques (Stanislas Meunier, *Revue scientifique* du 2 août 1902).

C'est une planche transparente propre à être placée dans le porte-image des lanternes à projection et qui permet de faire assister tout un auditoire aux phénomènes

que nous venons d'énumérer. Ce tableau a déjà été exhibé en de nombreuses conférences.

173. — Imitation des cavités sphéroïdales dont sont criblées les portions hautes des coulées de lave et qui caractérisent les roches de tous âges qualifiées d'amygdaloïdes.

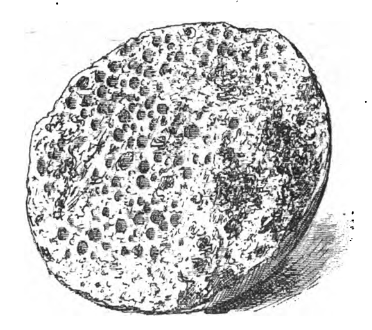


Fig. 154. — Imitation artificielle de la structure des laves volcaniques bulleuses.

On mélange du plâtre à mouler d'une petite quantité de carbonate de chaux précipité; ou bien on a simplement recours à du plâtre éventé, c'est-à-dire conservé depuis longtemps au contact de l'air et dont la chaux libre s'est par conséquent carbonatée. On gâche ce plâtre dans une solution d'alun de chrome et l'on observe que la pâte obtenue fait effervescence, mousse beaucoup et tend à sortir du vase dans lequel on l'a préparée. Après la prise, on constate, en la brisant, qu'elle est remplie de bulles (fig. 154), dont la ressemblance est complète avec celle des laves. On remarquera que l'allure de l'éruption varie avec le degré de compacité de la pâte et peut imiter les différentes conditions offertes par les volcans. C'est la réponse à des observations de M. van Ertborn sur la lenteur de l'éruption de certaines laves.

174. — Perforation des roches par des jets de gaz chauds à très forte pression (Daubrée).

Affouillement de plusieurs roches par les gaz du coton poudre.

Prisme et sphère d'acier affouillés par les gaz de la dynamite.

Poussières de diverses roches produites par les jets de gaz.

Lames de plomb refoulées par les gaz.

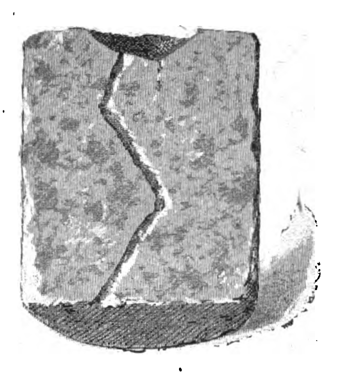


Fig. 155. — Perforation d'une roche par un jet de gaz à forte pression ; imitation des *diatrèmes*.

Un cylindre de roche étant coupé suivant un plan diamétral, on ébauche un sillon sur l'une des moitiés, puis ayant rapproché les deux demi-cylindres, on les met ensemble en rapport avec l'orifice de sortie d'une *éprouvette* à essayer les matières explosibles. Les gaz, en se dégageant, élargissent le sillon et en creusent un tout pareil sur la moitié laissée intacte. On a rattaché cet effet aux causes qui ont ouvert les cheminées volcaniques.

En faisant partir des cartouches de coton poudre ou de dynamite au contact de roches variées, on les a affouillées et on en a détaché des particules qu'on a voulu comparer à certaines poussières volcaniques.

175. — Appareil destiné à tenter l'infiltration capillaire de l'eau à travers des roches poreuses, malgré une contrepression de vapeur (Daubrée).

Une lame de roche volcanique (téphrine de Volvic) est placée en R de façon à constituer le fond du réservoir S ; on la chauffe en la plaçant dans une caisse

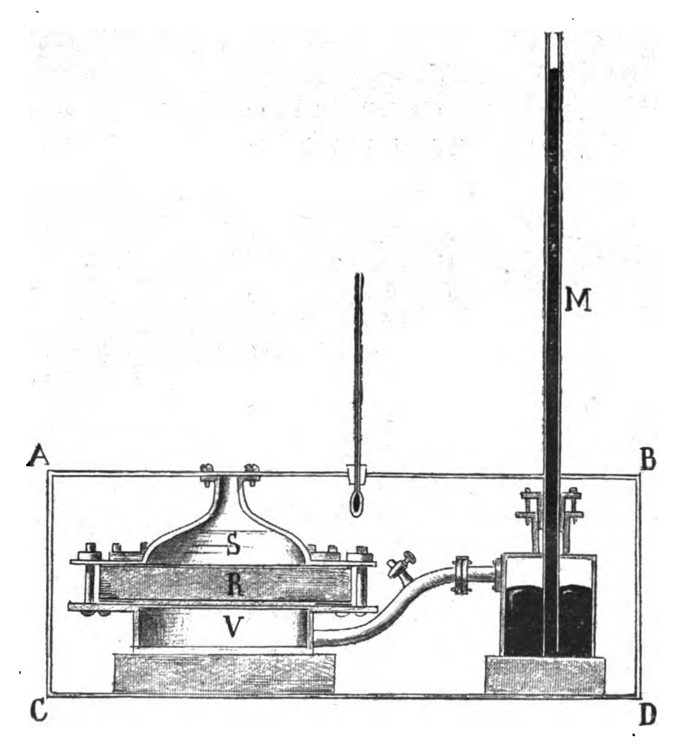


Fig. 156. — Appareil destiné à démontrer l'infiltration souterraine de l'eau dans les laboratoires volcaniques.

de tôle A, B, C, D, dont la température peut être portée à 150 degrés. Quand elle est arrivée à ce degré thermométrique, on verse de l'eau à sa surface et l'on observe

le manomètre M pour voir si l'eau ne passe pas par capillarité dans le réservoir inférieur V où sa vapeur s'accumulerait.

Malgré les illusions premières, venant de quelque cause accidentelle, on est obligé de reconnaître que l'infiltration n'a pas lieu dans ces conditions.

176. — Cylindres de lave de Volvic et de terre cuite, destinés à varier les expériences précédentes.

Bien que le résultat ait été définitivement reconnu comme négatif, ces appareils imaginés et mis en œuvre par Daubrée ont un intérêt historique.

177. — Appareil destiné à imiter les chocs de tremble-

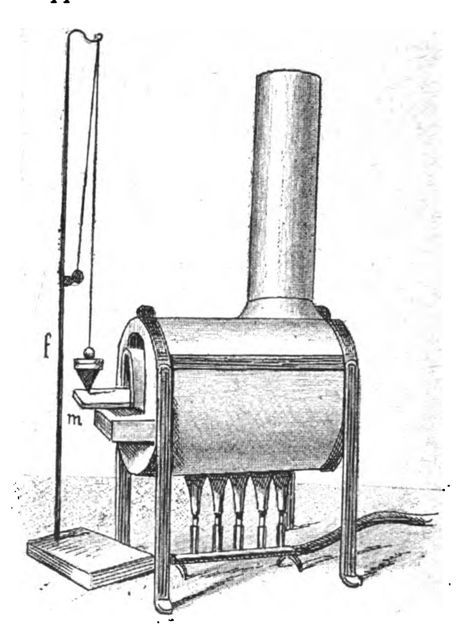


Fig. 157. — Appareil propre à l'imitation des secousses sismiques.

ment de terre par le chauffage brusque de roches imprégnées d'eau (fig. 157).

Cet appareil consiste en un petit fourneau à moufle *m* ordinaire, qu'on chauffe et dans lequel on introduit ensuite les roches à l'étude.

Un sismographe tout à fait rudimentaire *f* permet d'apprécier les secousses produites (Stanislas Meunier, *Géologie expérimentale*, 2e édition, p. 103).

QUATRIÈME PARTIE

APPLICATION DE LA MÉTHODE EXPÉRIMENTALE A DES ÉTUDES DE GÉOLOGIE COMPARÉE

L'étude géologique des astres autres que la Terre s est enrichie dans ces dernières années d'un certain nombre de tentatives expérimentales. Quelques-unes, qui sont représentées dans la Collection du Muséum, méritent d'être émnuérées.

§ 1. — *Étude des effets de la force centrifuge.*

178. — Appareil destiné à l'étude des effets de la force

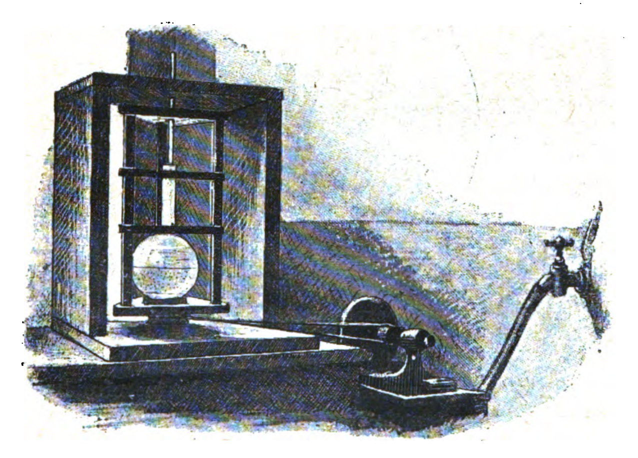


Fig. 158. — Appareil propre à l'étude des effets géologiques de la force centrifuge.

centrifuge dans le classement de matériaux divers mélangés ensemble (fig. 158).

Il consiste en un châssis qu'on peut animer, à l'aide d'une petite turbine, d'un mouvement rotatif plus ou moins rapide autour d'un axe ; on peut y fixer un ballon de verre, où sont disposées les matières en expérience, tantôt simultanément tantôt successivement, par un canal ouvert suivant le col du ballon.

179. — Imitation expérimentale des bandes de Jupiter. Le ballon contient de l'eau bouillante et une certaine

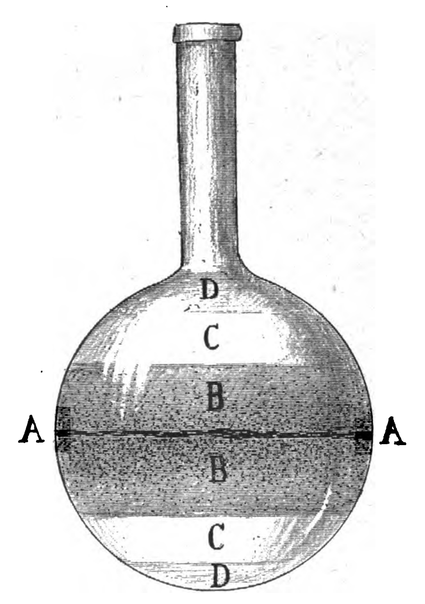


Fig. 159. — Imitation expérimentale des bandes de Jupiter.

quantité d'alliage fusible. On peut le remplir de stéarine et y déposer des grains pierreux. Après le refroidissement opéré pendant la rotation, on voit les corps denses former une ceinture équatoriale.

Dans l'expérience représentée par la figure 159, on avait mis dans le ballon de l'alliage fusible, de la pous-

sière de pyrite de fer, de la poussière de sulfate de baryte et assez de stéarine pour compléter le remplissage.

Après refroidissement, on a trouvé dans le ballon arrêté : une zone équatoriale A, d'alliage fusible, une double bande B, B de pyrite, une double bande C, C de barytine et deux calottes D, D de stéarine.

Les bandes ne sont pas tout à fait symétriques, à cause de l'influence de la pesanteur terrestre.

180. — Disposition périsphérique des particules solides successivement constituées dans un milieu jusque-l' entièrement fluide. Application à l'histoire de la photosphère du soleil et de l'écorce initiale de la terre.

Le ballon tournant étant plein d'une dissolution de sulfate de soude, on y fait tomber avec une pipette et goutte à goutte une petite quantité de nitrate de baryte. A chaque goutte on voit le précipité produit aller se concentrer dans la bande superficielle de plus grande vitesse c'est-à-dire de situation équatoriale.

§ 2. — *Étude de géographie martiale.*

181. — Etude expérimentale de la gémination des canaux de Mars. L'appareil (fig. 160) consiste en une plaque de cuivre argenté rendue spéculaire par le polissage et sur laquelle on a dessiné en noir une carte de Mars avec ses canaux. On la recouvre d'une gaze tendue parallèlement à quelques millimètres de distance. En éclairant la plaque obliquement, on voit l'ombre de chacun des canaux dessiner sur la gaze une ligne noire parallèle à la raie portée par la plaque. La gémination obtenue est extrêmement ressemblante au phénomène naturel.

Une photographie exposée à côté de l'appareil fait voir sans peine le résultat. (Stanislas Meunier. *Géologie comparée*, p. 77).

Il est facile de comprendre par la figure 161 la théorie de l'expérience.

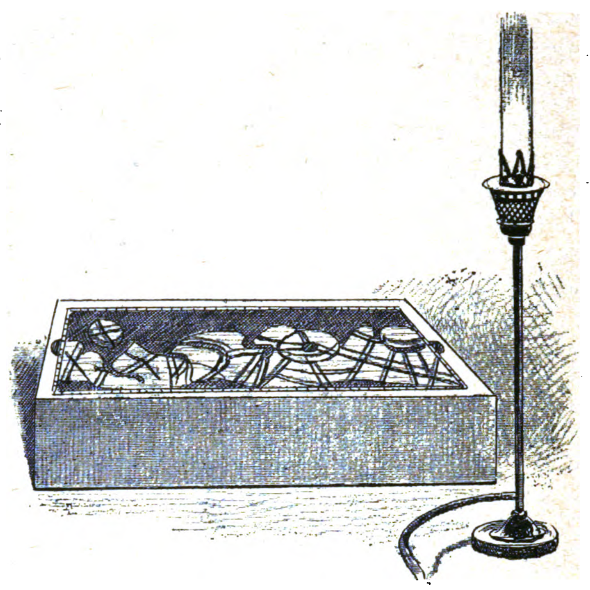


Fig. 160. — Appareil propre à la reproduction expérimentale des phénomènes de gémination des canaux de Mars.

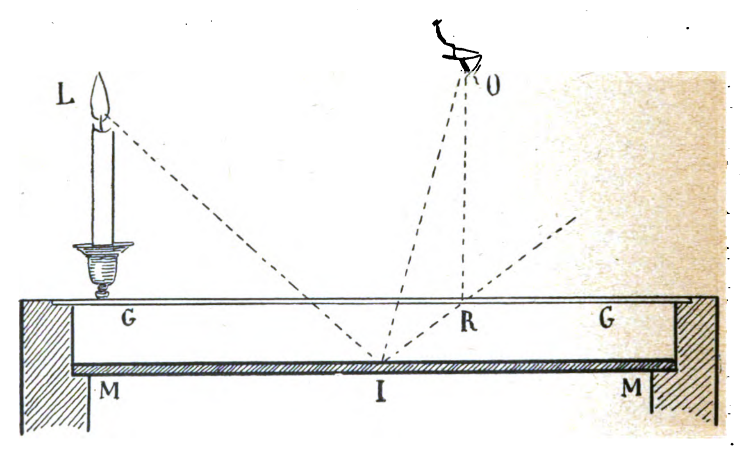


Fig. 161. — Schéma expliquant l'expérience précédente.

M M représentant la plaque d'argent sur laquelle on a dessiné la carte de Mars, on voit comment l'ombre réfléchie d'un point I, pris comme exemple, est arrêtée en R par la gaze transparente G, G. L'œil placé en O voit donc à côté du point I son ombre R qui en réalise la duplication ou gémination.

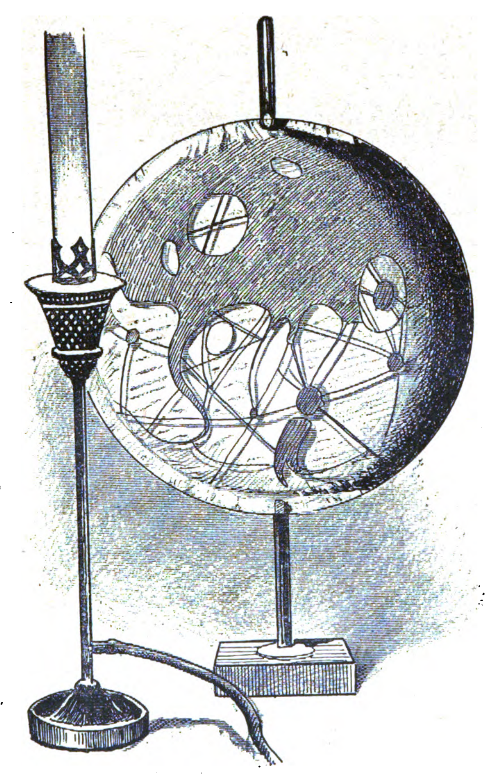


Fig. 162. — Réalisation de l'expérience précédente sur une surface spéculaire hémisphérique.

182. — Extension des résultats qui précèdent à une surface sphérique.

La plaque plane spéculaire de l'expérience précédente a été remplacée (fig. 162) par une demi-sphère creuse en cuivre argenté à l'extérieur et parfaitement polie. Après avoir dessiné en noir la carte de Mars, on y a appliqué un demi-globe de verre incolore et mince sur lequel on a étendu une fine gaze.

La gémination s'est réalisée aussi bien que dans le premier cas, et c'est ce que prouve une photographie exposée. (Stanislas Meunier. *Géologie comparée*, p. 80.)

La théorie de l'effet obtenu est la même que précédemment, comme le montre le schéma (fig. 163).

M représentant la coupe de la demi-sphère argentée

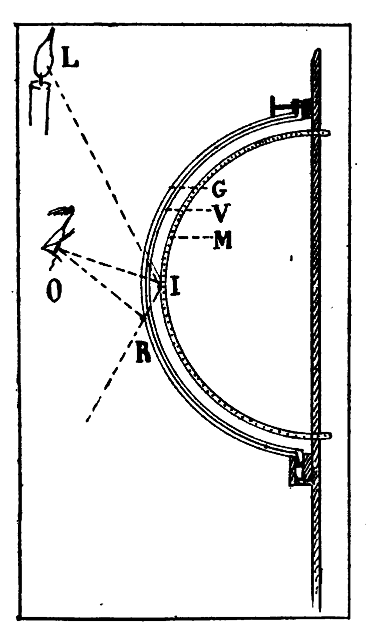


Fig. 163. — Schéma expliquant l'expérience précédente.

sur laquelle on a dessiné la carte, V est une calotte de verre très mince sur laquelle on soutient la gaze G. Un point choisi spécialement étant situé en I, on comprend

comment son ombre réfléchie est arrêtée en R par la gaze de sorte que l'œil supposé en O voit cette ombre à côté de l'objet qui la procure et éprouve par conséquent la sensation d'une gémination.

Les brumes de l'atmosphère de Mars doivent jouer dans la nature le rôle des gazes employées dans les expériences.

§ 3. — *Etude de géographie lunaire.*

183. — Imitation expérimentale des traits géologiques de la surface lunaire.



Fig. 164. — Imitation des cratères conjugués si fréquents sur la surface lunaire.

Les cratères volcaniques de la lune s'imitent comme

ceux de la terre par les expériences dont nous avons parlé aux nos 168 et 169. On peut par la même méthode reproduire les cratères conjugués qui sont si fréquents sur notre satellite (fig. 164).

On peut également, en poussant l'ébullition jusqu'à dessiccation complète de la pâte plâtreuse, déterminer des crevasses qui se développent sur de grandes longueurs en traversant tous les accidents de la surface consolidée exactement comme font les sélénoclases. La figure 165 représente l'un des spécimens exposés.



Fig. 165. — Imitation artificielle des sélénoclases.

§ 4. — *Etude expérimentale des météorites.*

184. — Imitation expérimentale des formes extérieures des Météorites ou pierres tombées du ciel.

L'émoussement de fragments anguleux de craie, placés dans de l'acide chlorhydrique étendu d'eau, a reproduit les détails de forme des météorites d'une manière très frappante. Les tourbillonnements d'acide carbonique dégagés ont eu les mêmes résultats sur la pierre immobile que le violent déplacement des météorites contre l'air en repos qu'elles traversent tout à coup.

Une série d'échantillons qu'on a peints en noir pour en rapprocher l'aspect de celui des météorites est très éloquente à cet égard.

La figure 166 permet de constater l'analogie de ces produits avec les météorites.

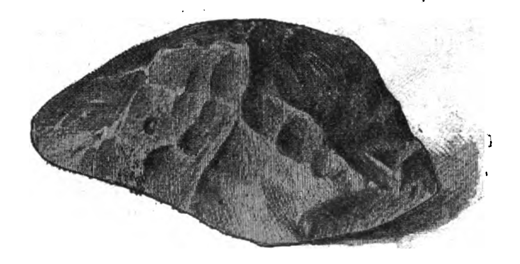


Fig. 166. — Imitation expérimentale des formes extérieures des météorites.

185. — Imitation des cupules des météorites par l'action des explosifs.

Blocs d'acier corrodés par les gaz de la poudre ou par ceux de la dynamite (Daubrée).

186. — Production de l'écorce noire caractéristique des météorites par l'échauffement superficiel des météorites grises.

187. — Production des météorites noires du type tadjérite par l'échauffement des météorites grises du type aumalite.

188. — Imitation de la composition chimique des météorites.

Les principaux spécimens relatifs à cette série sont

exposés dans la collection spéciale des Météorites. On se borne à mettre ici quelques produits de fusion des roches météoritiques.

La reproduction des minéraux des pierres tombées du ciel a déjà été mentionnée plus haut dans la partie relative aux synthèses minéralogiques. (V. nº 120.)

189. — Imitation des poussières vésiculaires si fréquentes dans l'atmosphère.

On sait que l'examen microscopique des poussières en



Fig. 167. — Imitation expérimentale des poussières vésiculaires de l'atmosphère.

suspension dans l'atmosphère y fait découvrir avec abondance des vésicules creuses avec ou sans tubulure et qui consistent ordinairement en oxyde magnétique de fer. Ces granules creux sont attribués à la combus-

tion dans l'atmosphère de matériaux ferrugineux (fer natif) venant des espaces célestes.

L'expérience représentée figure 167 montre que l'origine de ces globules est due à des phénomènes de capillarité; des lamelles d'oxyde de fer fondu se constituent en petits ballonnets. On fait fondre de la cire à cacheter et, l'ayant fait pénétrer dans une pipette, on insuffle le liquide dans l'eau froide. On recueille alors des myriades de petits globules (représentés en marge avec un fort grossissement) et qui ont exactement les formes des produits naturels.

TABLE DES MATIÈRES

TROISIÈME PARTIE

QUATRIÈME PARTIE

PARIS. — IMPRIMERIE F. LEVÉ, RUE CASSETTE, 17.

PARIS. — IMP. F. LEVÉ, RUE CASSETTE, 17.


QE 39.5 .E8 M598
[redacted]
Catalogue sommaire de la collection
Kummel Library APJ0034
3 2044 032 873 788

